

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-15033
(P2003-15033A)

(43) 公開日 平成15年1月15日 (2003.1.15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 0 2 B	13/24	G 0 2 B 13/24	2 H 0 8 7
	13/04	13/04	D 2 H 0 8 8
	13/18	13/18	2 H 0 9 1
	13/22	13/22	5 C 0 5 8
	17/08	17/08	A
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 28 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-196884 (P2001-196884)

(22) 出願日 平成13年6月28日 (2001.6.28)

(71) 出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
大阪国際ビル

(72) 発明者 桑 富栄

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビル ミノルタ株式会社内

(72) 発明者 大澤 聡

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビル ミノルタ株式会社内

(74) 代理人 100085501

弁理士 佐野 静夫 (外1名)

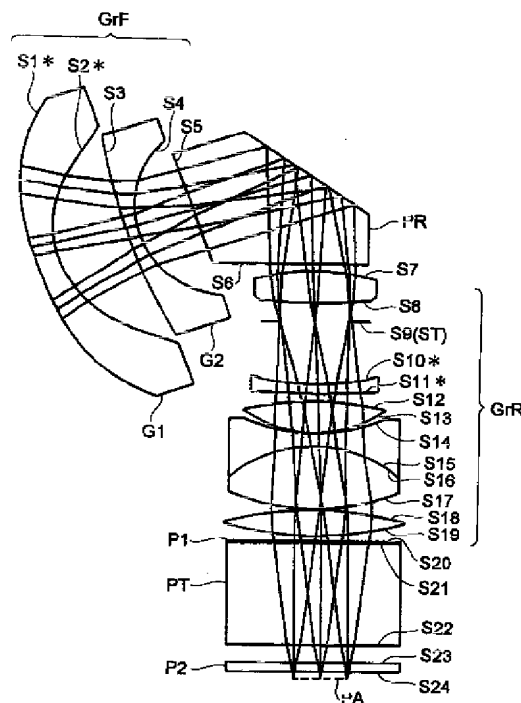
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投射光学系

(57) 【要約】

【課題】 高精細な投影画像が得られる、広画角で軽量・小型の高性能な投射光学系を提供する。

【解決手段】 ライトバルブ (PA) から略テレスントリックに射出した映像光でその表示画像をスクリーン (SC) 上に拡大投影するリアプロジェクション用の投射光学系であって、拡大共役側から順に、非球面を有する負パワーの前群 (GrF) と、反射面で光路を折り曲げるプリズム (P R) と、非球面を有する正パワーの後群 (GrR) と、を備え、第1、第2レンズ (G1) が負パワーを有し、異常分散材料から成る正パワーのレンズを後群 (GrR) に有し、後群 (GrR) の光軸上にライトバルブ (PA) 中心が位置せず、ライトバルブ (PA) との間にプリズム (PT) が配置され、更に条件式： $48 < \omega < 60$, $3 < D1/f < 7$, $Vd > 75$, $0.52 < (Ng-Nf)/(Nf-Nc) < 0.56$ (ω : 最大画角 ($^{\circ}$), $D1$: 折り返し空気長, f : 全系の焦点距離, Vd : 異常分散材料の g 線, f 線, c 線に対する屈折率) を満たす。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ライトバルブから略テレスントリックに射出した映像光でその表示画像をスクリーン上に拡大投影するリアプロジェクション用の投射光学系であって、拡大共役側から順に、非球面を有しかつ負のパワーを有する前群と、反射面で光路を折り曲げる光路折り曲げ手段と、非球面を有しかつ正のパワーを有する後群と、を備え、前記前群を構成している最も拡大共役側の第1レンズとそれに続く第2レンズとが共に負のパワーを有し、異常分散材料から成り正のパワーを有するレンズを前記後群に有し、前記後群の光軸上にライトバルブ中心が位置せず、ライトバルブとの間に照明光と投影光との分離又は異なる色光の合成を行う投影光準備手段が配置され、更に以下の条件式(1)～(4)を満たすことを特徴とする投射光学系；

$$48 < \omega < 60 \quad \cdots (1)$$

$$3 < D1/f < 7 \quad \cdots (2)$$

$$Vd > 75 \quad \cdots (3)$$

$$0.52 < (Ng - Nf) / (Nf - Nc) < 0.56 \quad \cdots (4)$$

ただし、

ω ：最大画角(°)、

D1：折り返し空気長(前群の最も縮小共役側の面から後群の最も拡大共役側の面までの空気換算光路長)、

f：全系の焦点距離、

Vd：異常分散材料のアップ数、

Ng：異常分散材料のg線に対する屈折率、

Nf：異常分散材料のf線に対する屈折率、

Nc：異常分散材料のc線に対する屈折率、

である。

【請求項2】 更に以下の条件式(5)を満たすことを特徴とする請求項1記載の投射光学系；

$$-0.5 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5)$$

ただし、

ffa：前群の非球面を有するレンズの焦点距離、

fra：後群の非球面を有するレンズの焦点距離、

である。

【請求項3】 ライトバルブから略テレスントリックに射出した映像光でその表示画像をスクリーン上に拡大投影するリアプロジェクション用の投射光学系であって、拡大共役側から順に、非球面を有しかつ負のパワーを有する前群と、反射面で光路を折り曲げる光路折り曲げ手段と、非球面を有しかつ正のパワーを有する後群と、を備え、前記前群を構成している最も拡大共役側の第1レンズとそれに続く第2レンズとが共に負のパワーを有し、前記後群の光軸上にライトバルブ中心が位置せず、ライトバルブとの間に照明光と投影光との分離又は光路の合成を行う投影光準備手段が配置され、更に以下の条件式(1)、(2)及び(5)を満たすことを特徴とする投射光学系；

$$48 < \omega < 60 \quad \cdots (1)$$

$$3 < D1/f < 7 \quad \cdots (2)$$

$$-0.5 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5)$$

ただし、

ω ：最大画角(°)、

D1：折り返し空気長(前群の最も縮小共役側の面から後群の最も拡大共役側の面までの空気換算光路長)、

f：全系の焦点距離、

ffa：前群の非球面を有するレンズの焦点距離、

fra：後群の非球面を有するレンズの焦点距離、

である。

【請求項4】 さらに前記投影光準備手段とライトバルブとの間にコンデンサーレンズを有することを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項5】 前記後群に有する非球面が、前記後群の最も縮小共役側のレンズ以外のレンズに設けられていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項6】 前記第1レンズ及び第2レンズが共に負のパワーを有するメニスカスレンズであることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項7】 前記非球面を有するレンズがプラスチックレンズであることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項8】 前記前群の光軸が前記後群の光軸に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に平行偏芯していることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項9】 前記光路折り曲げ手段がプリズムから成り、その透過面の少なくとも1面が前記後群の光軸に対して傾いていることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項10】 前記前群の光軸が前記後群の光軸に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に傾いていることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項11】 異なるスクリーンサイズのリアプロジェクション装置に搭載可能で、スクリーンサイズの切り替えに対応するように構成された投射光学ユニットであって、スクリーンサイズの切り替えに際し、前記後群内の絞り近辺で光軸に沿って移動することによりフォーカシングを行う正パワーの第1フォーカス群と、光軸に沿って移動することにより微小なフォーカスずれを補正する正パワーの第2フォーカス群と、を前記後群が有することを特徴とする請求項1～10のいずれか1項に記載の投射光学系。

【請求項12】 スクリーンサイズの切り替えに際し、前記第1フォーカス群内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることを特徴とする請求項11記載の投射光学系。

【請求項13】 スクリーンサイズの切り替えに際し、前記前群内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることを特徴とする請求項11又は12記載の投射光学系。

【請求項14】 前記前群の光軸上に中心を持つ球に沿って前記前群が回転可能に構成されていることを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の投射光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投射光学系に関するものであり、例えばライトバルブ(液晶パネル等)の表示画像をスクリーン上に拡大投影するリアプロジェクション装置に好適な投射光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、小型ライトバルブの表示画像を投射光学系を用いてスクリーンに拡大投影するリアプロジェクション装置が知られており、その軽量・小型化が望まれている。しかし、プロジェクション装置を軽量化しようとする、と、レンズ枚数を極端に増やすことができなくなり、プロジェクション装置を小型化するために投射光学系を広画角化しようとする、と、収差(特に色収差と歪曲収差)を抑えることが困難になってくる。このため、投射光学系には適切な光学構成が必要とされる。また、照明光による装置内の温度変化が光学性能劣化をもたらすため、レンズ材料の温度特性を考慮して各レンズの焦点距離や配置を設定する必要もある。

【0003】広画角でレンズバックの長いレトロフォーカスタイプの投射光学系を用い、その光路を途中で折り曲げるにより、リアプロジェクション装置の奥行き方向の厚みを低減させることが可能である。光路を途中で折り曲げる投射光学系としては、拡大共役側から順に、第1及び第2レンズが負レンズで始まり非球面を有する全体で負のパワーを有する前群と、非球面を有し全体で正のパワーを有する後群と、から成るものが種々提案されている。例えば、特開平8-201688号公報、特開2001-42211号公報、米国特許第6144503号明細書等に、上記のように構成された投射光学系が提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし上記従来例では、広画角化しようとする、と少ないレンズ枚数で十分な色収差補正を行うことができなくなるといった問題、温度変化によりレンズバックが大きくなりすぎてしまうといった問題がある。特に特開平8-201688号公報や特開2001-42211号公報記載の投射光学系では、広画角化する際に光路を鋭角に折るスペースが十分確保できず、リアプロジェクション装置の奥行き方向の厚みや画面下の突起を抑えるのには向いていない。また、米

国特許第6144503号明細書記載の投射光学系では、縮小共役側でテレセントリックになっていないため、光路分離や光路合成を行うプリズム等を用いる際にコントラスト低下、色ムラ、輝度ムラ等が発生し、したがって良好な画像を得ることは困難である。

【0005】本発明はこれらの問題点を解決するためになされたものであって、高精細な投影画像が得られる、広画角で軽量・小型の高性能な投射光学系を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、第1の発明の投射光学系は、ライトバルブから略テレセントリックに射出した映像光でその表示画像をスクリーン上に拡大投影するリアプロジェクション用の投射光学系であって、拡大共役側から順に、非球面を有しかつ負のパワーを有する前群と、反射面で光路を折り曲げる光路折り曲げ手段と、非球面を有しかつ正のパワーを有する後群と、を備え、前記前群を構成している最も拡大共役側の第1レンズとそれに続く第2レンズとが共に負のパワーを有し、異常分散材料から成り正のパワーを有するレンズを前記後群に有し、前記後群の光軸上にライトバルブ中心が位置せず、ライトバルブとの間に照明光と投影光との分離又は異なる色光の合成を行う投影光準備手段が配置され、更に以下の条件式(1)～(4)を満たすことを特徴とする。

$$48 < \omega < 60 \quad \cdots (1)$$

$$3 < D1/f < 7 \quad \cdots (2)$$

$$Vd > 75 \quad \cdots (3)$$

$$0.52 < (Ng - Nf) / (Nf - Nc) < 0.56 \quad \cdots (4)$$

ただし、

ω : 最大画角($^{\circ}$)、

$D1$: 折り返し空気長(前群の最も縮小共役側の面から後群の最も拡大共役側の面までの空気換算光路長)、

f : 全系の焦点距離、

Vd : 異常分散材料のアップベ数、

Ng : 異常分散材料のg線に対する屈折率、

Nf : 異常分散材料のf線に対する屈折率、

Nc : 異常分散材料のc線に対する屈折率、である。

【0007】第2の発明の投射光学系は、上記第1の発明の構成において、更に以下の条件式(5)を満たすことを特徴とする。

$$-0.5 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5)$$

ただし、

ffa : 前群の非球面を有するレンズの焦点距離、

fra : 後群の非球面を有するレンズの焦点距離、

である。

【0008】第3の発明の投射光学系は、ライトバルブから略テレセントリックに射出した映像光でその表示画像をスクリーン上に拡大投影するリアプロジェクション

用の投射光学系であって、拡大共役側から順に、非球面を有しかつ負のパワーを有する前群と、反射面で光路を折り曲げる光路折り曲げ手段と、非球面を有しかつ正のパワーを有する後群と、を備え、前記前群を構成している最も拡大共役側の第1レンズとそれに続く第2レンズとが共に負のパワーを有し、前記後群の光軸上にライトバルブ中心が位置せず、ライトバルブとの間に照明光と投影光との分離又は光路の合成を行う投影光準備手段が配置され、更に以下の条件式(1)、(2)及び(5)を満たすことを特徴とする。

$$48 < \omega < 60 \quad \cdots (1)$$

$$3 < D1/f < 7 \quad \cdots (2)$$

$$-0.5 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5)$$

ただし、

ω : 最大画角($^{\circ}$)、

D1: 折り返し空気長(前群の最も縮小共役側の面から後群の最も拡大共役側の面までの空気換算光路長)、

f: 全系の焦点距離、

ffa: 前群の非球面を有するレンズの焦点距離、

fra: 後群の非球面を有するレンズの焦点距離、

である。

【0009】第4の発明の投射光学系は、上記第1～第3のいずれか一つの発明の構成において、さらに前記投影光準備手段とライトバルブとの間にコンデンサーレンズを有することを特徴とする。

【0010】第5の発明の投射光学系は、上記第1～第4のいずれか一つの発明の構成において、前記後群に有する非球面が、前記後群の最も縮小共役側のレンズ以外のレンズに設けられていることを特徴とする。

【0011】第6の発明の投射光学系は、上記第1～第5のいずれか一つの発明の構成において、前記第1レンズ及び第2レンズが共に負のパワーを有するメニスカスレンズであることを特徴とする。

【0012】第7の発明の投射光学系は、上記第1～第6のいずれか一つの発明の構成において、前記非球面を有するレンズがプラスチックレンズであることを特徴とする。

【0013】第8の発明の投射光学系は、上記第1～第7のいずれか一つの発明の構成において、前記前群の光軸が前記後群の光軸に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に平行偏芯していることを特徴とする。

【0014】第9の発明の投射光学系は、上記第1～第8のいずれか一つの発明の構成において、前記光路折り曲げ手段がプリズムから成り、その透過面の少なくとも1面が前記後群の光軸に対して傾いていることを特徴とする。

【0015】第10の発明の投射光学系は、上記第1～第9のいずれか一つの発明の構成において、前記前群の光軸が前記後群の光軸に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に傾いていることを特徴とする。

【0016】第11の発明の投射光学系は、上記第1～第10のいずれか一つの発明の構成において、異なるスクリーンサイズのリアプロジェクション装置に搭載可能で、スクリーンサイズの切り替えに対応するように構成された投射光学ユニットであって、スクリーンサイズの切り替えに際し、前記後群内の絞りに近辺で光軸に沿って移動することによりフォーカシングを行う正パワーの第1フォーカス群と、光軸に沿って移動することにより微小なフォーカスずれを補正する正パワーの第2フォーカス群と、を前記後群が有することを特徴とする。

【0017】第12の発明の投射光学系は、上記第11の発明の構成において、スクリーンサイズの切り替えに際し、前記第1フォーカス群内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることを特徴とする。

【0018】第13の発明の投射光学系は、上記第11又は第12の発明の構成において、スクリーンサイズの切り替えに際し、前記前群内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることを特徴とする。

【0019】第14の発明の投射光学系は、上記第1～第13のいずれか一つの発明の構成において、前記前群の光軸上に中心を持つ球に沿って前記前群が回転可能に構成されていることを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施したリアプロジェクション用の投射光学系を、図面を参照しつつ説明する。図1～図3、図7、図8、図10、図11に、第1～第7の実施の形態の光学構成及び投影光路をそれぞれ示す。また図5及び図6に、第3の実施の形態を適用したリアプロジェクション装置全体の光学構成及び投影光路を示す。ただし、図5に示すリアプロジェクション装置はスクリーン(SC)のサイズが40型であり、図6に示すリアプロジェクション装置はスクリーン(SC)のサイズが50型になっている。なお、リアプロジェクション装置の全体構成は他の実施の形態も第3の実施の形態とほぼ同様であり、図5及び図6に示すように投射光学系とスクリーン(SC)との間でミラー(MR)により投影光路を折り曲げる構成になっている。

【0021】各実施の形態の投射光学系は、ライトバルブ(PA)から略テレセントリックに射出した映像光で、ライトバルブ(PA)の表示画像をスクリーン(SC)上に拡大投影する構成になっている。そして、拡大共役側から順に、非球面を有しかつ負のパワーを有する前群(GrF)と、反射面で光路を折り曲げる光路折り曲げ手段としてのプリズム(PR)と、非球面を有しかつ正のパワーを有する後群(GrR)と、を備えている。投射光学系とライトバルブ(PA)の間には、照明光と投影光との分離を行う光路分離素子、又は光路の合成を行う光路合成素子が、投影光準備手段(PT)として配置されている。光路分離素子

としては、例えば、PBS (Polarizing BeamSplitter) プリズム、PBSシート (例えば住友スリーエム(株)製のDBEF (商品名))等の偏光分離素子が用いられ、光路合成素子としては、例えば、クロスダイクロックプリズム、ダイクロックミラー等の、異なる色光の合成を行う色合成素子が用いられる。またライトバルブ(PA)としては、DMD (Digital Micromirror Device)、反射型液晶パネル、透過型液晶パネル等の表示素子が用いられる。

【0022】なお各実施の形態では、PBSプリズム、PBSシート、クロスダイクロックプリズムのいずれかが投影光準備手段(PT)として配置されている。図21に、投影光準備手段(PT)の具体例を示す。図21(A)は、PBSプリズム(PT1)を示している。PBSプリズム(PT1)は入射してきた照明光(LI)をライトバルブ(PA)に向けて反射し、ライトバルブ(PA)からの反射光を透過させて投影光として後群(GrR)に入射させる。図21(B)は、PBSシート(PT2)を示している。PBSシート(PT2)は入射してきた照明光(LI)をライトバルブ(PA)に向けて反射し、ライトバルブ(PA)からの反射光を透過させて投影光として後群(GrR)に入射させる。図21(C)は、クロスダイクロックプリズム(PT3)を示している。クロスダイクロックプリズム(PT3)は、3つのライトバルブ(PA)からの異なる色光(例えばRGB)を色合成し、投影光として後群(GrR)に入射させる。

【0023】各実施の形態が適用されるリアプロジェクション装置では、ライトバルブ(PA)から射出する主光線がテレセントリックでないと、PBSプリズム(PT1)やPBSシート(PT2)を用いたときにコントラスト低下が増大し、クロスダイクロックプリズム(PT3)を用いたときに色むらや明るさむらが増大する。このため、投射光学系は縮小共役側にテレセントリックであることが望ましい。また、リアプロジェクションTVの画質を考慮すると、テレセントリック角 θ_1 : ライトバルブ(PA)の各画素から射出する主光線がライトバルブ(PA)の面法線となす角度が約 2° 以下であることが更に望ましい。

【0024】また、広画面角な投射光学系にPBSプリズム(PT1)、PBSシート(PT2)、クロスダイクロックプリズム(PT3)等を設ける場合、投射光学系はレンズバックが長くとり得るレトロフォーカスタイプであることが望ましい。したがって各実施の形態のように、投射光学系は負パワーの前群(GrF)と正パワーの後群(GrR)とで構成され、絞り(ST)は後群(GrR)内に位置することが好ましい。絞り(ST)を光路折り曲げ手段が配置される空間内(つまり前群(GrF)と後群(GrR)との間の折り返し空気間隔内)に位置させることは物理的に困難である。また、絞り(ST)を前群(GrF)に位置させることは前群(GrF)の全長を伸ばすことにつながり、その結果、リアプロジェクション装置のスクリーン(SC)下の突起が増すことになるため、小型化には向いていない。

【0025】また、PBSプリズム(PT1)、PBSシート(PT2)、クロスダイクロックプリズム(PT3)等を挿入するためのスペースとして、少なくとも画面の短辺断面で光路の干渉が起こらない程度の空間を確保することが必須となる。更には、投射光学系の最後尾の縮小共役側に空気長 D_2 : 後群(GrR)の最も縮小共役側レンズの面からライトバルブ(PA)又はコンデンサーレンズまでの空気換算光路長を確保して、その値(D_2)を投射光学系の全系の焦点距離(f)で割った値が $1.6 \sim 4$ となるようにすることが望ましい。 D_2/f の値がこの条件範囲の下限を下回ると、その空間を屈折率のかなり高い媒質で満たす等の構成をとらない限り、干渉無しで光路を折り返すことができなくなる。また、 D_2/f の値がこの条件範囲の上限を上回ると、良好な光学性能を確保することができなくなる。

【0026】各実施の形態では、前群(GrF)を構成している最も拡大共役側の第1レンズ(G_1)と、それに続く第2レンズ(G_2)とが、共に負のパワーを有している。前群(GrF)の第1レンズ(G_1)及び第2レンズ(G_2)が負レンズであると、それらのレンズ体積と径を低減させることができる。したがって、負パワーの第1、第2レンズ(G_1 , G_2)を用いることは、投射光学系の軽量化やコスト低減に適している。さらに、第1、第2レンズ(G_1 , G_2)の少なくとも片方のレンズが拡大側に凸面を向けたメニスカス形状であれば、各屈折面で光線をなだらかに屈折させることが可能となり、そのレンズの誤差感度低減に役立つ。この理由から、第1レンズ(G_1)及び第2レンズ(G_2)は拡大側に凸面を向けたメニスカス形状を有することがより望ましい。

【0027】前群(GrF)に非球面を用いることにより、歪曲補正を効率良く行うことが可能となる。したがって、前群(GrF)に非球面を用いることはレンズ枚数の低減に有効である。さらには、前群(GrF)に両面非球面レンズを有することが望ましい。各実施の形態のように広画面角な投射光学系においては歪曲補正が困難であるため、より歪曲補正能力を向上させる上で両面非球面レンズは効果的である。両面非球面レンズが単体であれば、プラスチックの射出成型等で容易に成形できるため更に好ましい。また、前群(GrF)のレンズ径は比較的大きいため、ガラス材料に比べて一般的に安値のプラスチック材料でレンズを作ることはコストの低減に役立つ。このことから、非球面レンズは最も拡大共役側に位置することが望ましい。しかし、プラスチックレンズの径をあまり大きくし過ぎると、成型等の工程が困難になるため、そのような場合には最も拡大共役側でないことが望ましい。

【0028】また、前群(GrF)のレンズ枚数を減らしつつレンズ径を小さく抑え、レンズ面の曲率がきつくなる。拡大共役側に凸を向けたメニスカスレンズの場合には、拡大共役側で曲率がゆるくなり縮小側で曲率がき

つくなる。このような曲率を有するレンズの両面においては、レンズ周辺で光線と面との交わる角度が大きくなるため、反射防止コート等の効き目が薄くなり、レンズ面間ゴースト、色むら、明るさむら等が生じる。その中でも、特に縮小共役側に凹を向ける曲率のきつい面は、蒸着等によるコート厚を均一にすることが困難であるため、コートの効き目が更に落ちる。

【0029】これを考慮すると、前群(GrF)に位置する縮小共役側に凹を向けた屈折面において、その最大有効径の位置で面の接線と前群(GrF)の光軸とが成す角度(θ_2)は 37° 以上であることが望ましい。当然のことながら $\theta_2=37^\circ$ 近辺の面が複数存在すると、その影響は顕著なものとなるため、 $\theta_2=37^\circ$ 近辺の面は1面のみとするのが好ましく、他の面の θ_2 は 45° 以上であることが望ましい。また、プラスチックレンズにおいては、コート時にあまり高温にできない等の制限あり、複雑なコートを載せることが困難であるため、 θ_2 は 45° 以上が望ましい。

【0030】後群(GrR)に非球面を用いることにより、像性能に影響する球面収差やコマ収差を効果的に補正することができる。このことから、後群(GrR)に非球面を用いることはレンズ枚数の低減に有効である。また、後群(GrR)に両面非球面レンズを用いることが更に望ましい。両面非球面レンズには、収差補正能力の向上だけでなく、前群(GrF)と同様に単体のプラスチックレンズを射出成型等で容易に成形できる等の長所がある。

【0031】各実施の形態では、後群(GrR)の光軸上にライトバルブ(PA)中心が位置しない構成になっている。ライトバルブ(PA)中心を後群(GrR)の光軸上からずらすことにより、ライトバルブ(PA)の中心から射出する主光線がスクリーン(SC)に斜入射することになる。これにより、リアプロジェクション装置の奥行き方向の厚みを低減することができる。

【0032】また各実施の形態では、後群(GrR)が異常分散材料から成る正パワーのレンズを有している。異常分散性を持つ材料から成るレンズを用いることにより、色収差の2次スペクトルを補正することができる。このため、レンズ枚数を低減できるとともに、製造工程がより複雑である接合レンズの数を低減することができる。したがって、異常分散材料から成る正レンズを後群(GrR)に用いることは、投射光学系的小型軽量化に向いている。

【0033】各実施の形態では、投射光学系の途中で反射面を用いて光路を折り曲げる光路折り曲げ手段を設けることにより、投射光学系の配置の自由度を高めている。この自由度は、リアプロジェクション装置の奥行きやスクリーン(SC)の下側の突起を低減可能にする。さらに、リアプロジェクション装置の奥行きとスクリーン(SC)下側の突起を最小限に抑えるためには、光路折り曲げ手段により前群(GrF)の光軸を後群(GrR)の光軸に対して

90° 以上折り曲げること(θ_3 : 折り返し角)が望ましい。逆に、光路折り曲げ手段としてプリズム(PR)を用いる場合、下側の突起を小さく抑える必要がない場合、投射される全光線がプリズム(PR)内で全反射条件を満たす角度で折り曲げられるようにすれば、蒸着等の手間が省けコスト低減が可能となる。例えば第5の実施の形態(図8)では、折り返しプリズム(PR)での全反射条件が成り立っている。つまり、折り返しプリズム(PR)の屈折率 $N_d=1.5168$ の場合、投影光の全ての光線と全反射面の法線とが成す角度を 40.92° 以上(第5の実施の形態では最も小さい角度が 42.44°)にすることにより、全反射条件を満たすことができる。

【0034】また各実施の形態のように、アルミや銀蒸着等が反射面に施されたプリズム(PR)を光路折り曲げ手段として使用する等して、屈折率が1以上の媒質の中に反射面を挿入することが望ましい。これは後述する折り返し空気長(D1)を光学的に短くすることに値し、投射光学系の構成条件をゆるめることになる。このため、光学性能をより高めることができる。

【0035】また、光路折り曲げ手段により高角度に光路を折り曲げると、前群(GrF)と後群(GrR)等で物理的干渉を起こしやすくなる。この干渉を少なくするために、光路折り曲げ断面に垂直な方向に干渉し易いレンズの光路が通過しない部分を切断した非円形状を用いることが望ましい。例えば第6の実施の形態(図10)では、前群(GrF)と後群(GrR)との干渉を避けるため、後群(GrR)に対する前群(GrF)の干渉部分をDカットして、非円形状のレンズで前群(GrF)を構成している。

【0036】後群(GrR)と照明系(不図示)との干渉を防ぐために非円形状のレンズを用いると、投射光学系のレンズバックを短くすることができ、また、前群(GrF)とスクリーン(SC)等との干渉を防ぐために非円形状のレンズを用いると、リアプロジェクション装置の奥行き方向の厚みを低減できる。例えば第3の実施の形態(図5)では、前群(GrF)とスクリーン(SC)との干渉を避けるため、スクリーン(SC)に対する前群(GrF)の干渉部分をDカットしてあり、後群(GrR)の最終レンズと照明系のコンデンサレンズ(不図示)との干渉を避けるため、照明系のコンデンサレンズに対する後群(GrR)の最終レンズの干渉部分をDカットしてある。また、非円形状レンズを用いると余分な材料を使用せずにすむため、環境にも良くコスト削減にもなる。この理由から、物理干渉に影響が無くても、投射光学系内で比較的大口径となる第1レンズ(G1)や第2レンズ(G2)を非円形状にすることが望ましい。

【0037】投射光学系の画角に関しては、以下の条件式(1)を満たすことが望ましい。

$$48 < \omega < 60 \quad \cdots (1)$$

ただし、

ω : 最大画角($^\circ$)、

である。

【0038】条件式(1)は投射光学系の最大画角を規定している。条件式(1)の下限を下回ると、投射距離が伸び過ぎてしまい、リアプロジェクション装置の奥行きが増すことになる。このため、投射光学系は小型化に向かなくなる。条件式(1)の上限を上回ると、前群(GrF)の有効径を広げるか、前群(GrF)の光学面の周辺での角度(面頂点の法線方向と周辺での面の接線とが成す角度)を小さくするか、のどちらかをしないと性能を維持することができなくなる。有効径を広げると、材料費が上がり製造も困難になる。また、前群(GrF)の光学面の周辺角度を小さくすると、上で述べたような障害が生まれる。更にそれらの面の屈折力が上がるため誤差感度が上がり過ぎてしまい、メカ構成や調整手順が困難なものとなる。その結果、レンズ枚数を増やさなくてはならなくなるため、小型・軽量化や低コスト化に向かなくなる。

【0039】前群(GrF)と後群(GrR)との間の折り返し空気間隔に関しては、以下の条件式(2)を満たすことが望ましい。

$$3 < D1/f < 7 \quad \cdots (2)$$

ただし、

D1: 折り返し空気長(前群(GrF)の最も縮小共役側の面から後群(GrR)の最も拡大共役側の面までの空気換算光路長)、

f: 全系の焦点距離、

である。

【0040】条件式(2)は折り返し空気長を規定している。条件式(2)の下限を下回ると、Fナンバーを小さく保ちつつ光路を折り返すことが困難になり、配置の自由度が低減する。また、リアプロジェクション装置のスクリーン(SC)下側の突起を大きくすることになる。条件式(2)の上限を上回ると、折り返し空気長を長く取りすぎることになり、上で述べた条件式(1)の上限を超えたときの対処法をとる必要性が生まれる。このため、小型・軽量化と低コスト化に向かなくなる。

【0041】後群(GrR)に用いられている異常分散材料から成る正レンズに関しては、以下の条件式(3)及び(4)を満たすことが望ましい。

$$Vd > 75 \quad \cdots (3)$$

$$0.52 < (Ng - Nf) / (Nf - Nc) < 0.56 \quad \cdots (4)$$

ただし、

Vd: 異常分散材料のアップベ数(v_d)、

Ng: 異常分散材料のg線に対する屈折率、

Nf: 異常分散材料のf線に対する屈折率、

Nc: 異常分散材料のc線に対する屈折率、

である。

【0042】条件式(3)と(4)は異常分散材料の定義に関する条件を規定している。(Ng-Nf)/(Nf-Nc)とVdをそれぞれ縦軸と横軸にとったガラスマップを考える。このとき、条件式(3)の下限と条件式(4)の上限と下限とで形成

される3辺の内側に入らないガラスでVdが高すぎるものは存在せず(Vdが90以上等)、Vdが高すぎず3辺の外側に位置するガラスは2次スペクトル補正能力が低く、レンズ枚数を低減できるほどの効果が十分ではない。このため、条件式(3)及び(4)を満たさないものは、レンズ枚数が少ない投射光学系には向いていない。

【0043】前群(GrF)や後群(GrR)の非球面を有するレンズに関しては、以下の条件式(5)を満たすことが望ましい。

$$-0.5 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5)$$

ただし、

ffa: 前群(GrF)の非球面を有するレンズの焦点距離、

fra: 後群(GrR)の非球面を有するレンズの焦点距離、

である。

【0044】条件式(5)は、温度変化によるビントずれを低減するための、前群(GrF)の非球面を有するレンズと後群(GrR)の非球面を有するレンズとの焦点距離の関係を規定している。一般的に、ガラスレンズと肉薄の硬化材料(例えば、紫外線硬化型樹脂、熱硬化型樹脂等)より成る複合型非球面レンズは、プラスチックレンズよりも温度特性に左右されないが、プロジェクター向けの投射光学系はレンズ径が大きいこと、非球面形状の球面形状からの変位(Deviation)が大きいこと、製造コストが高いこと、のうちのいずれかの理由で投射光学系には適していない。

【0045】そのため、プラスチック成形の非球面レンズを用いるのが一般的であるが、プラスチックレンズの形状やその屈折率は温度変化に対して非常に敏感である。プラスチックの温度変化による線膨張係数(α)や温度変化による屈折率変化($\Delta n / \Delta T$)は、ガラスレンズに比べて桁違いに大きい。また、線膨張係数(α)と屈折率変化($\Delta n / \Delta T$)との符号が異なるため、温度変化による膨張と屈折率変化はビントを同じ方向に移動させる働きをする。各実施の形態のような広画角な光学系においては、仮に同じ材料と同じ焦点距離のプラスチックレンズが前群(GrF)と後群(GrR)にある場合、後群(GrR)のプラスチックレンズがもたらす温度変化によるビントずれは前群(GrF)の10倍ほどになる。そのため、前群(GrF)と後群(GrR)の非球面レンズの焦点距離比を、ある範囲に収めなければならなくなる。条件式(5)はその範囲を規定している。条件式(5)の条件範囲の限度を超えると、温度変化によるビントずれが大きくなりすぎてしまい、温度センサーに連動したフォーカス機構等が無い限り、投射光学系の解像力が不十分となる。

【0046】また、条件式(5)の下限を引き上げた以下の条件式(5a)を満たすことが更に好ましい。

$$-0.3 < -ffa/fra < 0.5 \quad \cdots (5a)$$

【0047】条件式(5)の下限を引き上げる理由を説明する。歪曲補正を効果的に行うため、前群(GrF)の非球面レンズは拡大共役側に寄ることが好ましく、負のパワ

一を有することが更に好ましい。例えば前群(GrF)の非球面レンズ単体で考えたとき、温度の上昇に従ってピントがQ方向に移動するものとする。後群(GrR)のパワーは全体で正であるため、非球面レンズ以外のガラスレンズで線膨張係数(α)と屈折率変化($\Delta n/\Delta T$)との符号が異なるレンズを多用すると、後群(GrR)の非球面レンズのピント誤差を除いても、温度上昇によりそれらのガラスレンズでピントを-Q方向に作用させることは、その逆よりも容易である。したがって、条件式(5)の下限を引き上げた条件式(5a)を満たすことが好ましいといえる。

【0048】線膨張係数(α)と屈折率変化($\Delta n/\Delta T$)との符号が異なるガラスレンズを多用する必要が無いように、以下の条件式(5b)を満たすことが更に望ましい。
 $-0.1 < -\text{ffa}/\text{fra} < 0.2 \quad \dots (5b)$

【0049】後群(GrR)にプラスチック製の非球面レンズを用いた際、そのレンズの温度変化によるピント誤差は非常に大きいことから、後群(GrR)のプラスチック非球面レンズの焦点距離を全系の焦点距離で割った値が、以下の条件式(5c)及び(5d)を満たすことが望ましい。また、条件式(5)の下限と上限を狭めたことと同じ理由で、以下の条件式(5e)及び(5f)を満たすことが望ましい。後群(GrR)の非球面レンズは、非球面形状の収差補正能力を十分に発揮させつつ焦点距離を長くするために、メニスカスレンズであることが望ましい。

$\text{fra}/f > 4 \quad \dots (5c)$

$\text{fra}/f < -4 \quad \dots (5d)$

$\text{fra}/f > 16 \quad \dots (5e)$

$\text{fra}/f < -8 \quad \dots (5f)$

【0050】第6、第7の実施の形態(図10、図11)のように、投影光準備手段(PT)とライトバルブ(PA)との間にコンデンサーレンズ(CL)を有することが望ましい。コンデンサーレンズ(CL)を用いることは、投影光準備手段(PT)を通過する光線のテレセントリック性を崩すことを意味する。投影光準備手段(PT)としてPBSシート(P T2)等を使用した場合、空間のほとんどが媒質で満たされていないため、PBSプリズム(PT1)やクロスダイクロックプリズム(PT3)等を用いた場合よりも、投射光学系のレンズバックを長くとらなくてはならない。こうなると、同じ画角で同じFナンバーの光束を投射する以上、投射光学系の性能を維持するのが困難になるとともにレンズ径が大きくなる。このため、高精細化、小型・軽量化、低コスト化には向かなくなる。投影光準備手段(PT)とライトバルブ(PA)との間にコンデンサーレンズ(CL)を挿入することにより(テレセントリック性は崩れるが)、これらの問題を解決することができる。

【0051】各実施の形態のように、後群(GrR)に有する非球面が、後群(GrR)の最も縮小共役側のレンズ以外のレンズに設けられていることが望ましい。つまり、投影光準備手段(PT)よりも拡大共役側に位置する最も縮小

側のレンズ以外のレンズに非球面を設けることが望ましい。これは後群(GrR)の非球面位置に関する条件である。一般的に、小型のライトバルブ(PA)の表示画像を拡大投影するプロジェクターにおいては、照明光源とその発散光を集光するコンデンサーとが必要であるが、光源のアーク長とコンデンサーの径とライトバルブ(PA)の大きさとの関係から、ライトバルブ(PA)の各画素から射出するFナンバーの下限値は決まる。そして、アーク長が存在し、ライトバルブ(PA)の大きさが光源の発散光を集光するコンデンサーよりも小さくなることが一般的である。したがって、照明光を有効に活用するためにFナンバーの小さい投射光学系が要求される。

【0052】また、投射光学系の径が小さければ、材料費や加工費の削減に役立つと共に、投射光学系の途中での折り返しが容易になる。これらを踏まえ、Fナンバーと径の小さい投射光学系を達成するには、投射光学系の最もライトバルブ(PA)に近いレンズに強い正のパワーを持たせて、投射光の発散を根元から抑えることが一番効果的である。しかし非球面レンズにこの役割をさせると、当然のことながら焦点距離が短くなり、上で述べた非球面レンズの温度特性を考慮すると不向きである。よって、後群(GrR)の非球面レンズは最も縮小共役側のレンズでないことが必要である。

【0053】第1レンズ(G1)及び第2レンズ(G2)が共に負のパワーを有するメニスカスレンズであることが望ましい。これは前群(GrF)の第1、第2レンズ(G1,G2)の形状に関する条件である。第1及び第2レンズ(G1,G2)が負パワーで最大画角(ω)が48°以上の投射光学系において、レンズ枚数を急激に増やすことなく誤差感度を低く状態維持するには、第1及び第2レンズ(G1,G2)の4面で、1つの面に屈折力を集中させないように、できるだけなだらかに屈折させることが大切になってくる。そうするには、第1及び第2レンズ(G1,G2)がメニスカスレンズであることが望ましく、拡大共役側に凸を向けたメニスカスレンズであることが更に望ましい。

【0054】非球面を有するレンズはプラスチックレンズであることが望ましい。これは非球面レンズの材料に関する条件である。前述したように、ガラスレンズと肉薄の硬化材料(例えば紫外線硬化型樹脂等)より成る複合型非球面レンズは、プラスチックレンズよりも温度特性に関しては顕著でないが、プロジェクター向けの投射光学系はレンズ径が大きいこと、非球面形状の球面からの変位(Deviation)が大きいこと、製造コストが高いこと、のうちのいずれかの理由で投射光学系には適していない。したがって、プラスチック成形の非球面レンズを用いることが望ましい。

【0055】前群(GrF)の光軸が後群(GrR)の光軸に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に平行偏芯していることが望ましい。例えば図9に示す第5の実施の形態のように、前群(GrF)の光軸(AXF)が後群(GrR)の光

軸(AXR)に対してずれており、その光軸ずれに後群(GrR)に対する前群(GrF)の平行偏芯が含まれていることが望ましい。第5の実施の形態に係る投射光学系は、ライトバルブ(PA)中心が後群(GrR)の光軸(AXR)からずれた光学構成になっている(図8)。そのずれにより各々の収差を前群(GrF)と後群(GrR)でカウンター補正することができるため、前群(GrF)と後群(GrR)の光軸(AXF, AXR)が平行偏芯して配置されていることが望ましい。

【0056】光路折り曲げ手段がプリズム(PR)から成り、その透過面の少なくとも1面が後群(GrR)の光軸(AXR)に対して傾いていることが望ましい。これは光路折り曲げ手段としてプリズム(PR)を用いたときのプリズム透過面の傾きに関する条件であり、第5の実施の形態(図8、図9)はこの条件を満たしている。プリズム(PR)を用いる効果については先に説明した通りであるが、さらにプリズム(PR)の屈折面を傾けることは非点収差を補正する上で有効である。第5の実施の形態では、ライトバルブ(PA)中心が後群(GrR)中心からずれているため、投射された像はそのずれによりスクリーン(SC)に対する入射角が大きくなる像高で性能劣化が起こる。また、その反対の影響を受けた像高は性能が良くなる傾向がある。プリズム面を傾けることにより、非点収差に対するこの不均一性を和らげることができ、画面全体でより良好な像を得ることができる。

【0057】前群(GrF)の光軸(AXF)が後群(GrR)の光軸(AXR)に対して、ストレート系とみなしたときに光学的に傾いていることが望ましい。これは前群(GrF)の光軸(AXF)と後群(GrR)の光軸(AXR)との傾きに関する条件であり、第5の実施の形態(図8、図9)はこの条件を満たしている。第5の実施の形態では、ライトバルブ(PA)中心が後群(GrR)中心からずれているため、ライトバルブ(PA)中心の映像光において最良の像性能を得ると、全体の像面が一方向に傾くことになる。前群(GrF)の光軸(AXF)を後群(GrR)の光軸(AXR)に対して傾けることによって、この傾きをカウンター補正することができ、良好な性能を達成することができる。

【0058】第3、第4の実施の形態(図3、図7)では、ライトバルブ(PA)とスクリーン(SC)とのスクリーン(SC)法線方向の位置関係(画面中心基準)を維持しつつ、スクリーン(SC)サイズの切り替えに対応しうるように投射光学系が構成されており、また、異なるスクリーンサイズのリアプロジェクションTVに搭載しうるようにユニット化されている。例えば第3の実施の形態では、40型のスクリーン(SC)サイズ(図5)と50型のスクリーン(SC)サイズ(図6)との切り替えが可能になっている。このような複数のスクリーン(SC)サイズの切り替えに際し、後群(GrR)内の絞り(ST)近辺で光軸に沿って移動することによりフォーカシングを行う正パワーの第1フォーカス群と、光軸に沿って移動することにより微小なフォーカスずれを補正する正パワーの第2フォーカス群

と、を後群(GrR)が有することが望ましい。第3、第4の実施の形態では、第1フォーカス群が第4レンズ(G4)と絞り(ST)から成っており、第2フォーカス群が第9レンズ(G9)から成っている。なお第2フォーカス群は、メカ精度や組み立て精度等による誤差から生じる微小なフォーカスずれを補正するためのピント微調整手段である。

【0059】像面湾曲補正が可能な絞り(ST)近辺に位置する正パワーの群を第1フォーカス群としてフォーカスに使用することにより、フォーカスを行うと共にその際に発生する像面湾曲の補正を同時に行うことができる。レンズ枚数が少ない系における後群(GrR)で負のパワーを有する群は、色収差に対する感度が高いためフォーカス群としては不向きである。同じ理由で、微調フォーカスを行う第2フォーカス群も正のパワーを有する群である必要がある。また、前群(GrF)は光軸の傾きによる投影位置変動や像面の傾きに対する感度が高く、前群(GrF)の単レンズはそれに加えて歪曲収差にも悪影響を及ぼすためフォーカス群には向いていない。また、第2フォーカス群は移動に伴う像面湾曲の変動が少ないことが必須であるため、絞り(ST)から離れた群であることが望ましい。

【0060】さらにこのような系では、光路折り曲げ手段と絞り(ST)との間の空間よりも、絞り(ST)と投影光準備手段(PT)との間の距離の方が長くなるため、第2フォーカス群は絞り(ST)よりも縮小共役側に位置することが望ましい。更には、投射光学系の最も縮小共役側のレンズが正のパワーを有する単レンズ(接合等されていない)であり、第2フォーカス群がそのレンズ1枚であれば、フォーカス時の像面湾曲変動量が最小となるため望ましい。また、第2フォーカス群が単レンズであれば、フォーカスのメカ構成がより簡単になるという効果もある。

【0061】スクリーン(SC)サイズの切り替えに際し、第1フォーカス群内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることが望ましい。第4の実施の形態(図7)では、第4レンズ(G4)が交換されることによりスクリーン(SC)サイズの切り替えに対応している。このようなスクリーン(SC)サイズの切り替え時におけるフォーカス群の非共通化による効果を説明する。像面湾曲補正に効果がある群であることは、その群の移動に対する像面湾曲の変動量が大きいということであり、その群の移動によるフォーカス量と像面湾曲補正量とのバランスが崩れているとき、同群内の少なくとも1面の曲率を変えることでフォーカス量と像面湾曲補正量とのバランスをとることができる。更には、単レンズでフォーカスし、そのレンズを完全に非共通にすることにより、メカ構成を単純化しつつフォーカス調整量と像面湾曲補正量のバランスを更に良くすることができる。

【0062】スクリーン(SC)サイズの切り替えに際し、

前群(GrF)内の少なくとも1個のレンズが、そのレンズとは曲率の異なる面を少なくとも1面有する別のレンズと置き換えられることが望ましい。第4の実施の形態(図7)では、第3レンズ(G3)が交換されることによりスクリーン(SC)サイズの切り替えに対応している。このようなフォーカス時における前群(GrF)の面の非共通化による効果を説明する。前群(GrF)の屈折面は絞リ(ST)から遠く、各像高の光束が分離するため、ピントずれに対する感度に対し歪曲補正効果が高い。このため第1フォーカス群の移動やレンズ交換ではできない歪曲補正を行うことができるため、第1フォーカス群の移動やレンズ交換によるフォーカスに、この歪曲補正を加えると更に光学性能を上げることができる。

【0063】前群(GrF)の光軸上に中心を持つ球に沿って前群(GrF)が回転可能に構成されていることが望ましい。例えば図4に示す第3の実施の形態のように、前群(GrF)の光軸上に中心(CP)を持つ球に沿って前群(GrF)が回転可能に構成されていれば、像面の傾き補正を行うことができる。プリズム(PR)等の光路折り曲げ手段を有する以上、前群(GrF)と後群(GrR)のレンズ鏡胴を同時加工することは困難であり、特に前群(GrF)と後群(GrR)の光軸の傾きを十分に吸収するメカ精度を達成することは困難である。この傾きの発生により像面が傾いてしまうため、他の収差発生を極力抑えつつ像面の傾きを補正するには、前群(GrF)の光軸上に中心(CP)を持った球に沿って前群(GrF)全体を回転させることが最適である。

【0064】さらには、前群(GrF)の回転中心(CP)をその後方主点位置近辺に置くことが望ましく、それによって投影位置を動かさずに像面の傾きを補正することができる。また、後群(GrR)に対する光路折り曲げ手段の傾

$$X(H) = (C0 \cdot H^2) / \{1 + \sqrt{1 - \epsilon \cdot C0^2 \cdot H^2}\} + (A4 \cdot H^4 + A6 \cdot H^6 + A8 \cdot H^8 + A10 \cdot H^{10} + A12 \cdot H^{12}) \dots (AS)$$

ただし、式(AS)中、

X(H)：高さHの位置での光軸方向の変位量(面頂点基準)、

H：光軸に対して垂直な方向の高さ、

C0：近軸曲率(=1/CR)、

ϵ ：2次曲面パラメータ、

Ai：i次の非球面係数(i=4,6,8,10,12)、である。

【0068】表10に、実施例5の座標データを示す。実施例5のコンストラクションデータにおいて、共軸系内の面の配置は拡大共役側直前の面との軸上面間隔(T)で特定され、互いに偏芯した共軸系の最も拡大共役側の面(S1,S7,S8,S9)は座標データで特定される。座標データで特定される面(S1,S7,S8,S9)の配置は、その面の位置と傾きとで特定される。各面(S1,S7,S8,S9)の位置は、第1面(S1)の面頂点を原点(0,0,0)とし、かつ、その面頂点での法線方向をx軸方向(縮小共役側が正)とするグローバルな直交座標系(x,y,z)において、各面(S1,S

7,S8,S9)の面頂点座標(x,y,z)で表される。第1面(S1)においては、面頂点での接平面がy-z平面(z軸方向が各光学断面図の紙面に対して垂直方向)に一致し、面頂点を通る前群(GrF)の光軸(AXF、図9)がx軸と一致する。しかし、光路がプリズム(PR)で折り曲げられるため、各面を通る光軸(AXF)とx軸とは一致しない。そこで、各面(S1,S7,S8,S9)の面頂点における法線と光軸(AXF)とが、z軸を中心とした回転により成す回転角度(時計回りが正)で、各面(S1,S7,S8,S9)の傾きを表している。

【0065】

【実施例】以下、本発明を実施したリアプロジェクション用の投射光学系を、コンストラクションデータ等を挙げて更に具体的に説明する。ここで挙げる実施例1～7は、前述した第1～第7の実施の形態にそれぞれ対応しており、各実施の形態を表す図1～図3、図7、図8、図10及び図11は、対応する各実施例の光路等をそれぞれ示している。

【0066】表1、表3、表5、表7、表9、表12及び表14に、実施例1～7のコンストラクションデータを示す。ただし、実施例3と実施例4(表5、表7)は、スクリーン(SC)サイズの切り替えに対応した構成になっているため、2ポジション(50型、40型)のデータを挙げている。各実施例のコンストラクションデータにおいて、Si(i=1,2,3,...)は拡大共役側から数えてi番目の面、CRiは面Siの曲率半径(mm)、Tiは軸上面間隔(mm)を示しており、Nd、ndは光学要素のd線に対する屈折率、アッペ数をそれぞれ示している。また、*が付された面Siは以下の式(AS)で定義される面形状の非球面であり、表2、表4、表6、表8、表11、表13及び表15に、実施例1～7の非球面データ(E-n=×10⁻ⁿ)を示す。

【0067】

7,S8,S9)の面頂点座標(x,y,z)で表される。第1面(S1)においては、面頂点での接平面がy-z平面(z軸方向が各光学断面図の紙面に対して垂直方向)に一致し、面頂点を通る前群(GrF)の光軸(AXF、図9)がx軸と一致する。しかし、光路がプリズム(PR)で折り曲げられるため、各面を通る光軸(AXF)とx軸とは一致しない。そこで、各面(S1,S7,S8,S9)の面頂点における法線と光軸(AXF)とが、z軸を中心とした回転により成す回転角度(時計回りが正)で、各面(S1,S7,S8,S9)の傾きを表している。

【0069】表16と表17に、条件式の対応データ及び関連データ(FN0：Fナンバー)並びに角度データ(°)を示す。なお、実施例6、7の全系の焦点距離(f)は、ライトバルブ(PA)近傍に位置するコンデンサーレンズ(CL)をも含んだ値である。また、条件式(4)における(Ng-Nf)/(Nf-Nc)の値は、アッペ数(nd)が7.5以上の異常分散材料の値である。

【0070】図12～図20は各実施例の収差図であり、実施例3、4については各スクリーンサイズ(50型、

40型)に対応した光学構成での収差(図14～図17)を示している。各図中、(A)は球面収差(spherical aberration, mm; 縦軸: FNO)、(B)は非点収差(astigmatic aberration, mm; 縦軸: ω°)、(C)は歪曲収差(distortion, %; 横軸: ω°)、(D)は倍率色収差(lateral chromatic aberration, mm; 横軸: ω°)を示しており、太い実線と細い実線は波長546nmの光線に対す

る収差、長い破線は波長450nmの光線に対する収差、短い破線は605nmの光線に対する収差をそれぞれ表している。また各図(B)において、DMはメリディオナル面での非点収差、DSはサジタル面での非点収差を示している。

【0071】

【表1】

実施例1のコンストラクションデータ						
面	CR	T	Nd	νd	光学要素等	
S1*	141.48834	6.0006	1.49140	57.82	G1	
S2*	29.96838					
S3	181.19465	19.7061			前群(GrF)	
S4	25.98577	3.0000	1.74250	52.47	G2	
S5	∞	15.9615				
S6	∞	58.3635	1.51680	64.20	ガラスA(PR)	
S7	52.71648	1.9959				
S8	-154.22228	9.5940	1.51680	64.20		
S9	∞	5.2871				絞り(ST)
S10*	-73.61986	18.0934				
S11*	-99.55909	2.7387	1.49140	57.82	後群(GrR)	
S12	77.27975	2.3085				
S13	-30.57623	9.2530	1.49310	83.58	Vd	
S14	-43.15452	0.2000				
S15	33.96243	3.8736	1.75000	25.14		
S16	33.96243	0.0301	1.51400	42.83		
S17	-54.57192	18.3623	1.51680	64.20		
S18	84.69408	0.2000				
S19	-84.70589	7.4923	1.66998	39.23		
S20	∞	1.6000				
S21	∞	0.3000	1.51680	64.20	$\lambda/4$ 板(P1)	
S22	∞	29.3300	1.66998	63.18	ガラスA(PT)	
S23	∞	5.0000				
S24	∞	2.6000	1.51680	64.20	$\lambda/2$ 板(P2)	

【0072】

【表2】

面	実施例1の非球面データ			
S1	ϵ	-8.76522	A8	6.63642E-14
	A4	3.86082E-06	A10	9.63688E-17
	A6	-9.35113E-10	A12	-1.62059E-20
S2	ϵ	-1.03211	A8	-3.42268E-12
	A4	8.11718E-06	A10	1.90515E-13
	A6	3.02295E-09	A12	-7.92054E-17
S10	ϵ	6.48721	A8	-1.90724E-10
	A4	5.32928E-06	A10	1.90515E-13
	A6	4.15957E-09	A12	-7.92054E-17
S11	ϵ	5.68815	A8	-1.48671E-10
	A4	0.000016628	A10	1.30268E-13
	A6	8.88780E-09	A12	1.56883E-16

【0073】

【表3】

実施例2のコンストラクションデータ					
面	CR	T	Nd	d	光学要素等
S1	78.48363	5.0000	1.71300	53.93	G1
S2	45.53334	16.6455			前群(GrF)
S3	85.56743	4.2000	1.71300	53.93	
S4	34.82238	12.4373			G2
S5*	∞	5.6000	1.49300	58.34	
S6*	43.44115	21.7816			
S7	∞	70.0000	1.51880	64.20	7°リズム(PR)
S8	∞	2.8585			
S9	-283.50494	10.0000	1.74400	44.93	
S10	-84.41499	0.1000			
S11	43.87893	4.8899	1.74400	44.93	
S12	106.34112	20.1236			絞り(ST)
S13	∞	16.3002			
S14	-25.19628	5.0000	1.49300	58.34	後群(GrR)
S15*	-28.55819	0.1000			
S16	-140.89722	6.8927	1.49310	83.58	Vd
S17	-24.11536	0.1000			
S18	-58.50237	7.3511	1.48749	70.44	
S19	-21.95444	3.0000	1.80518	25.43	
S20	98.28707	1.1447			
S21	103.83720	10.0000	1.49310	83.58	Vd
S22	-35.97460	0.1000			
S23	198.39144	6.8617	1.80518	25.43	
S24	-67.14422	2.5200			
S25	∞	30.0000	1.62041	60.29	7°リズム(PT)
S26	∞				

【0074】

【表4】

面	実施例2の非球面データ			
S5	ε	1.00000	A8	3.33793E-11
	A4	2.28136E-05	A10	-2.12345E-14
	A6	-3.29055E-08	A12	6.13134E-18
S6	ε	1.00000	A8	1.46371E-11
	A4	1.86529E-05	A10	-1.47111E-14
	A6	-3.22858E-08	A12	---
S15	ε	1.00000	A8	-4.44824E-12
	A4	1.72213E-05	A10	-1.47111E-14
	A6	1.65336E-08	A12	---

【0075】

【表5】

実施例3のコンストラクションデータ						
面	CR	T(50型)	T(40型)	Nd	vd	光学要素等
S1*	235.02315	5.2644	〃	1.49140	57.82	G1
S2*	44.22783	10.2816	〃			前群 (GrF)
S3	56.04690	3.0000	〃	1.71700	47.86	
S4	32.14804	13.0368	〃			G2
S5	227.07816	2.4600	〃	1.60729	59.48	
S6	28.47818	12.5773	〃			
S7	∞	55.0000	〃	1.51680	64.20	プリズム(PR)
S8	∞	2.0000	2.2696			
S9	57.85397	12.0000	〃	1.74000	28.26	G4
S10	195.48217	2.6193	〃			
S11	∞	21.2399	20.9708			絞り(ST)
S12*	-90.74771	2.5031	〃	1.49140	57.82	後群 (GrR)
S13*	-93.29430	1.0300	〃			
S14	72.33849	11.2064	〃	1.49310	83.58	Vd
S15	-28.32637	0.2000	〃			
S16	-46.04868	2.8000	〃	1.80518	25.43	
S17	35.04837	0.0301	〃	1.51400	42.83	
S18	35.04837	13.9716	〃	1.51680	64.20	
S19	-49.49406	6.1349	〃			
S20	102.67120	5.9907	〃	1.74000	31.72	G9
S21	-102.68094	3.5000	〃			
S22	∞	0.3000	〃	1.51880	84.20	λ/4板(P1)
S23	∞	29.5000	〃	1.67790	53.38	プリズム(PT)
S24	∞	2.6000	〃	1.51680	64.20	λ/2板(P2)
S25	∞					

【0076】

【表6】

面	実施例3の非球面データ			
S1	ε	1.46380	A8	2.59057E-13
	A4	4.79852E-06	A10	1.03650E-16
	A6	-1.81462E-09	A12	-3.76804E-20
S2	ε	-4.97137	A8	-3.88301E-12
	A4	9.50835E-06	A10	2.07344E-15
	A6	-1.31973E-09	A12	-3.77595E-19
S12	ε	22.35470	A8	-9.65357E-11
	A4	4.81036E-06	A10	1.57010E-13
	A6	-2.79251E-08	A12	---
S13	ε	2.64561	A8	-1.05918E-10
	A4	1.37014E-05	A10	2.54580E-13
	A6	-1.54358E-08	A12	---

【0077】

【表7】

実施例4のコンストラクションデータ							
面	CR(50型)	CR(40型)	T(50型)	T(40型)	Nd	νd	光学要素等
S1*	252.90973	"	5.0000	"	1.49140	57.82	G1
S2*	46.74273	"	9.1964	"			前群(GrF)
S3	67.97958	"	3.0000	"	1.71300	53.94	
S4	34.16187	"	12.2918	"			
S5	124.40039	"	2.4800	"	1.61800	63.39	G3
S6	31.48367	31.94194	13.3662	"			
S7	∞	"	55.0000	"	1.51680	64.20	7'ワス*A(PR)
S8	∞	"	2.0000	2.3771			
S9	85.90401	82.91530	11.0303	"	1.80518	25.43	G4
S10	-364.95958	-445.58341	6.1395	"			絞り(ST)
S11	∞	"	22.0344	21.6574			
S12*	-65.69581	"	4.2909	"	1.49140	57.82	後群(GrR)
S13*	-88.01370	"	0.5293	"			
S14	101.03827	"	14.0713	"	1.49310	83.58	Vd
S15	-25.51650	"	0.2000	"			
S16	-41.58330	"	2.5000	"	1.80610	33.27	
S17	40.11972	"	0.0301	"	1.51400	42.83	
S18	40.11972	"	12.8550	"	1.62041	60.29	
S19	-57.10394	"	0.5000	"			
S20	124.82930	"	7.0580	"	1.58913	61.11	G9
S21	-73.93155	"	11.6000	"			
S22	∞	"	0.3000	"	1.51680	64.20	λ/4板(P1)
S23	∞	"	30.0000	"	1.60942	63.20	7'ワス*A(PT)
S24	∞	"	2.6000	"	1.51680	64.20	λ/2板(P2)
S25	∞	"					

【0078】

【表8】

面	実施例4の非球面データ			
S1	ε	15.03270	A8	2.72000E-14
	A4	0.00000461	A10	1.75000E-16
	A6	-1.42000E-09	A12	-4.90000E-20
S2	ε	-3.89066	A8	-4.23000E-12
	A4	0.0000071	A10	-1.12000E-13
	A6	1.47000E-09	A12	---
S12	ε	4.29686	A8	-1.02000E-10
	A4	0.00000622	A10	-1.12000E-13
	A6	-2.0200E-08	A12	---
S13	ε	5.05452	A8	-1.39000E-10
	A4	0.0000182	A10	2.43000E-13
	A6	1.19000E-08	A12	---

【0079】

【表9】

実施例5のコンストラクションデータ					
面	CR	T	Nd	νd	光学要素等
S1*	34.78310	5.2694	1.49140	57.82	G1
S2*	18.19360	20.7075			前群 (GrF)
S3	116.78200	3.0000	1.71300	53.93	
S4	28.80180	7.3959			G2
S5	42.78770	2.4884	1.74400	44.93	
S6	29.50060	-----			
S7	∞	-----	1.51680	64.20	7°リスミア(PR)
S8	∞	-----			
S9	52.65790	9.9184	1.71736	29.50	
S10	-135.28900	1.4014			絞り (ST)
S11	∞	16.4596			
S12*	-38.12400	4.8848	1.49140	57.82	後群 (GrR)
S13*	-62.86300	0.4090			
S14	152.99400	9.5787	1.49310	83.58	Vd
S15	-25.29400	0.4000			
S16	-43.80760	2.0000	1.71736	29.50	
S17	31.92600	0.0300	1.51400	42.83	
S18	31.92600	6.7062	1.48749	70.44	
S19	173.84400	0.4000			
S20	73.72350	12.7372	1.49310	83.58	Vd
S21	-35.78060	0.4000			
S22	165.76600	8.0490	1.48749	70.44	
S23	-60.77960	1.6000			
S24	∞	30.0000	1.60713	63.20	7°リスミア(PR)
S25	∞				

【0080】

【表10】

【0081】

【表11】

実施例5の座標データ				
面	x	y	z	回転角(°)
S1	0	0	0	0
S7	50.7541	0	0	1.7423
S8	99.5945	0	0	-0.3952
S9	101.6357	0.2256	0	2.0778

実施例5の非球面データ				
S1	ε	-6.60313	A8	-2.38268E-13
	A4	8.42394E-07	A10	-2.60704E-17
	A6	1.04468E-09	A12	3.55340E-20
S2	ε	-1.34958	A8	3.59810E-12
	A4	7.78202E-06	A10	7.65695E-16
	A6	-4.44667E-09	A12	-1.67847E-18
S12	ε	1.24024	A8	-4.75670E-10
	A4	0.000030185	A10	5.70560E-13
	A6	-3.28734E-08	A12	1.65635E-15
S13	ε	-0.770318	A8	-5.25688E-10
	A4	4.64684E-05	A10	1.15153E-12
	A6	1.13929E-08	A12	-5.10772E-16

【0082】

【表12】

実施例6のコンストラクションデータ					
面	CR	T	Nd	νd	光学要素等
S1*	226.43953	4.5934	1.52200	52.20	G1
S2*	47.14913	8.9870			前群(GrF)
S3	77.49715	3.0000	1.74350	49.24	
S4	34.93511	15.2138			
S5	-576.25105	2.4845	1.57250	57.54	
S6	32.18798	13.6355			
S7	∞	47.3021	1.51680	64.20	7°ミラール(PR)
S8	∞	1.9875			
S9	53.67744	7.0676	1.74000	31.72	
S10	-300.00813	20.5582			絞り(ST)
S11	∞	2.8726			
S12*	-22.86730	7.7983	1.52200	52.20	後群(GrR)
S13*	-25.80086	4.30704			
S14	87.78013	10.0695	1.49310	83.58	Vd
S15	-24.56867	0.2000			
S16	-64.35401	3.0000	1.75690	31.79	
S17	29.33747	0.0301	1.51400	42.83	
S18	29.33747	8.9538	1.48749	70.44	
S19	539.91599	3.5000			
S20	391.75435	5.1013	1.62337	57.03	
S21	-47.92392	5.0000			
S22	∞	1.3000	1.51680	64.20	偏光板(P0)
S23	∞	28.7000			
S24	59.15935	4.6800	1.60944	63.18	コンデンサ(CL)
S25	∞	4.3300			
S26	∞	1.2000	1.51680	64.20	$\lambda/2$ 板(P2)
S27	∞				

【0083】

【表13】

実施例6の非球面データ				
面				
S1	ϵ	-7.12318	A8	3.01414E-13
	A4	4.68114E-06	A10	5.18964E-17
	A6	-1.53772E-09	A12	-3.40095E-20
S2	ϵ	-3.48402	A8	-1.61980E-12
	A4	6.18262E-06	A10	-8.33520E-16
	A6	1.18789E-10	A12	4.54960E-19
S12	ϵ	0.39625	A8	9.47898E-11
	A4	2.34424E-06	A10	-1.23149E-12
	A6	9.33724E-08	A12	3.87810E-15
S13	ϵ	0.21115	A8	2.62754E-10
	A4	1.99182E-05	A10	-5.98660E-13
	A6	6.49040E-08	A12	1.19404E-15

【0084】

【表14】

実施例7のコンストラクションデータ					
面	CR	T	Nd	νd	光学要素等
S1	65.07726	5.0000	1.75450	51.57	G1
S2	40.82888	11.0719			前群(GrF)
S3	67.43961	5.0000	1.75450	51.57	
S4	31.99144	11.3907			
S5*	149.13687	5.0000	1.49300	58.34	
S6*	29.08620	11.0000			
S7	∞	60.0000	1.51680	64.20	7°リスラム(PR)
S8	∞	6.0000			
S9	353.78193	8.8647	1.85	40.04	後群(GrR)
S10	51.36534	1.9992			
S11	119.32491	4.6297	1.54072	47.20	
S12	-76.29051	0.1000			
S13	36.70448	9.9331	1.80518	25.43	絞り(ST)
S14	-1019.09789	17.9592			
S15	∞	1.6196			
S16	-33.93368	3.0000	1.80518	25.43	
S17	30.40619	0.0300	1.51400	42.83	
S18	30.40619	3.0000	1.51680	64.20	
S19	165.81411	0.1000			
S20*	45.09654	10.0000	1.49300	58.34	
S21*	-43.44632	3.5965			
S22	-14442.51878	9.0000	1.49310	83.58	Vd
S23	-25.91728	46.0000			
S24	57.58558	5.0000	1.62041	60.29	フンゲンツ(CL)
S25	∞				

【0085】

【表15】

実施例7の非球面データ				
面				
S5	ε	1.00000	A8	1.35490E-11
	A4	1.34020E-05	A10	-5.56518E-15
	A6	-1.86749E-08	A12	---
S6	ε	0.31662378	A8	-7.90765E-12
	A4	7.42671E-06	A10	2.31146E-14
	A6	-2.12232E-08	A12	-1.17501E-17
S20	ε	1.00000	A8	-3.96264E-11
	A4	4.15417E-06	A10	5.78079E-14
	A6	2.35790E-08	A12	---
S21	ε	1.00000	A8	3.84976E-11
	A4	1.89816E-05	A10	-7.01516E-14
	A6	3.64673E-08	A12	---

【0086】

【表16】

条件式の対応・関連データ										
実施例	型	f	FNO	(1)	(2)等		(4)	(5)等		
				ω	D1/f	D2/f	$(N_g-N_f)/(N_f-N_c)$	ffa	fra	$ -ffa/fra $
1	—	13.0264	2.5	50.50	4.332	2.407	0.539288	-78.473	-593.265	0.132
2	—	13.2400	2.5	50.62	5.347	2.266	0.539288	-88.116	-848.390	0.104
3	50	13.1260	2.4	50.00	5.301	2.281	0.539288	-111.458	-9875.853	0.011
	40	13.0720	2.4	50.00	5.280	2.270	0.539000	-111.458	-9875.853	0.011
4	50	13.1000	2.8	50.00	3.941	3.036	0.539288	-117.179	-10049.107	0.012
	40	13.1570	2.8	50.00	3.950	3.040	0.539000	-117.179	-10049.107	0.012
5	—	11.7800	2.5	56.50	3.915	2.527	0.539288	-86.396	-210.088	0.411
6	—	13.0833	2.5	50.44	3.575	2.641	0.539288	-114.569	-4380.724	0.026
7	—	13.3572	2.5	50.32	4.558	3.444	0.539288	-74.315	46.623	1.594

【0087】

【表17】

角度データ(°)									
実施例	$\theta 1$ 最大値		$\theta 2$						$\theta 3$
	50型	40型	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1	0.06	--	42.9	38.0	80.0	35.3	--	--	108.8
2	0.42	--	50.3	29.3	63.6	29.3	57.8	63.3	120.0
3	0.36	0.41	52.1	50.2	56.9	38.5	84.0	46.4	108.4
4	0.25	0.35	50.0	49.0	60.9	38.5	78.2	46.5	112.3
5	0.08	--	35.0	35.0	74.4	35.6	58.0	45.8	83.0
6	0.37	--	50.0	54.8	63.9	39.0	--	47.0	109.7
7	0.57	--	45.0	26.8	57.0	26.5	74.1	83.0	110.0

【0088】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、広画角で軽量・小型の高性能な投射光学系を実現することが可能である。そして、本発明に係る投射光学系を用いることにより高精細な投影画像を得ることができ、リアプロジェクション装置の高画質化と共に軽量・薄型化を達成することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態(実施例1)の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図2】第2の実施の形態(実施例2)の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図3】第3の実施の形態(実施例3)の光学構成(40型)及び投影光路を示す断面図。

【図4】第3の実施の形態(実施例3)において像面の傾き補正を行う場合の光学構成(40型)及び投影光路を示す断面図。

【図5】第3の実施の形態(実施例3)を適用したリアプロジェクション装置(40型)全体の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図6】第3の実施の形態(実施例3)を適用したリアプロジェクション装置(50型)全体の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図7】第4の実施の形態(実施例4)の光学構成(40型)及び投影光路を示す断面図。

【図8】第5の実施の形態(実施例5)の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図9】第5の実施の形態(実施例5)における前群と後群との偏芯状態を説明するための断面図。

【図10】第6の実施の形態(実施例6)の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図11】第7の実施の形態(実施例7)の光学構成及び投影光路を示す断面図。

【図12】実施例1の収差図。

【図13】実施例2の収差図。

【図14】実施例3(50型)の収差図。

【図15】実施例3(40型)の収差図。

【図16】実施例4(50型)の収差図。

【図17】実施例4(40型)の収差図。

【図18】実施例5の収差図。

【図19】実施例6の収差図。

【図20】実施例7の収差図。

【図21】投影光準備手段の具体例を示す模式図。

【符号の説明】

PA …ライトバルブ

GrF …前群

GrR …後群

PR …プリズム(光路折り曲げ手段)

PT …投影光準備手段

G1 …第1レンズ

G2 …第2レンズ

G3 …第3レンズ

G4 …第4レンズ(第1フォーカス群)

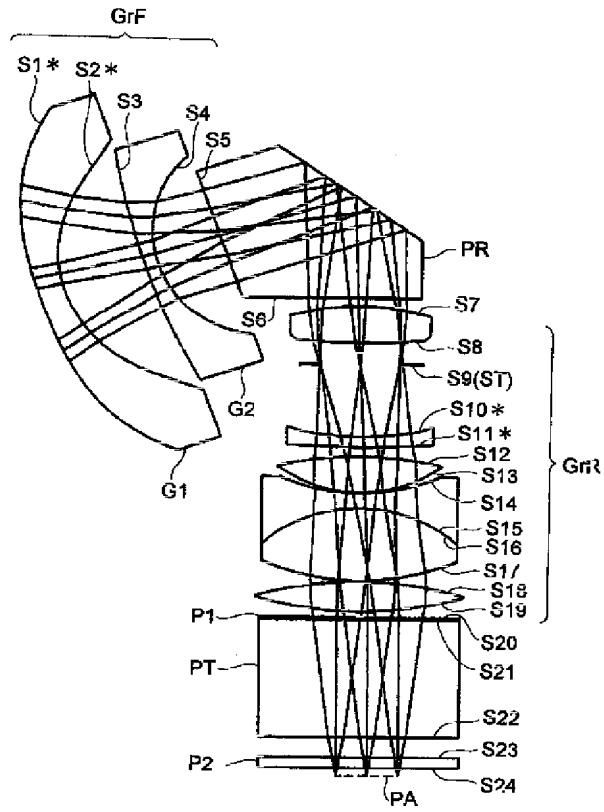
ST …絞り(第1フォーカス群)

G9 …第9レンズ(第2フォーカス群)

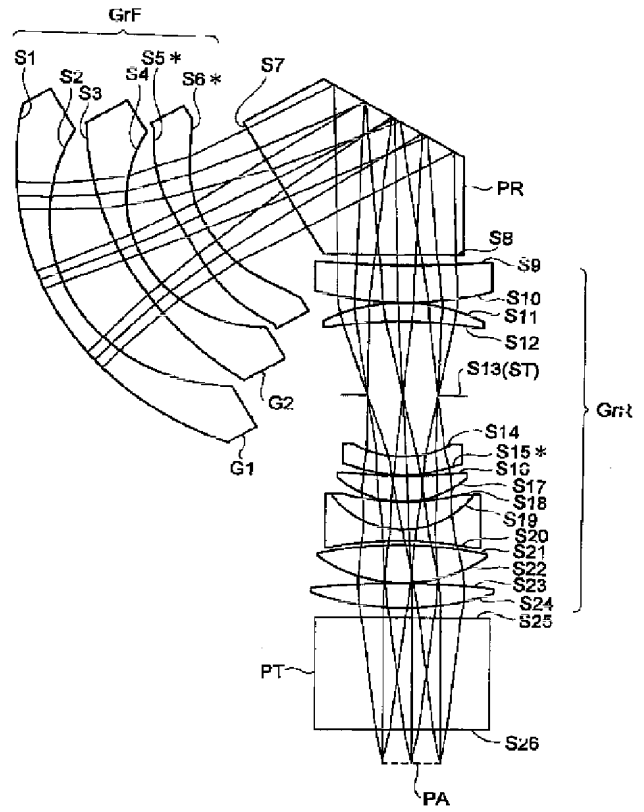
CL …コンデンサーレンズ
 AXF …前群の光軸
 AXR …後群の光軸

CP …前群の回転中心
 SC …スクリーン

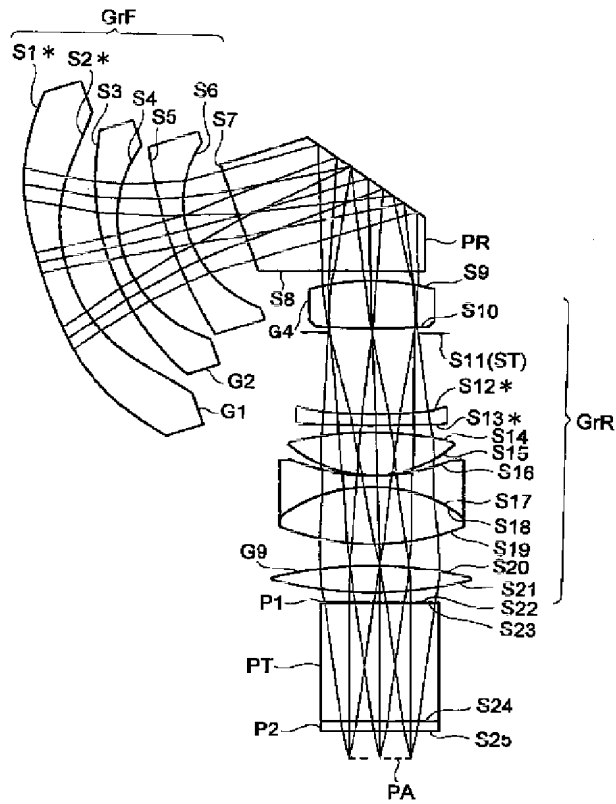
【図1】



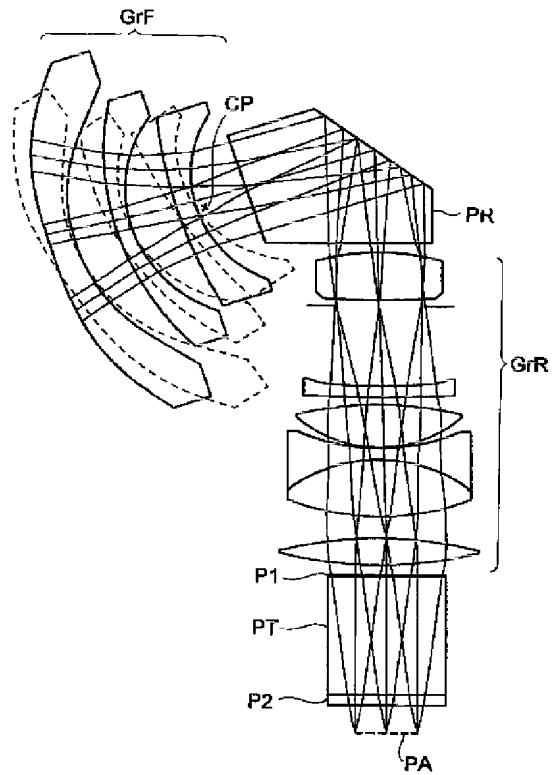
【図2】



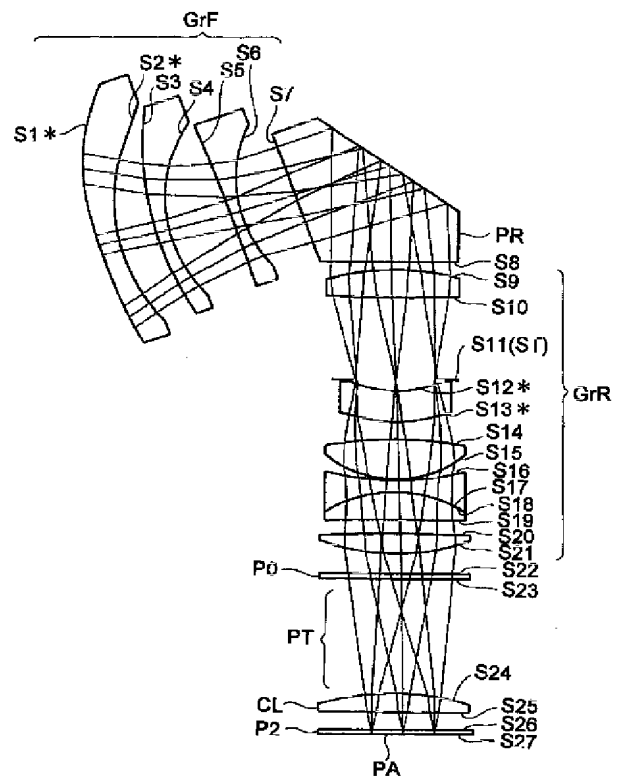
【図3】



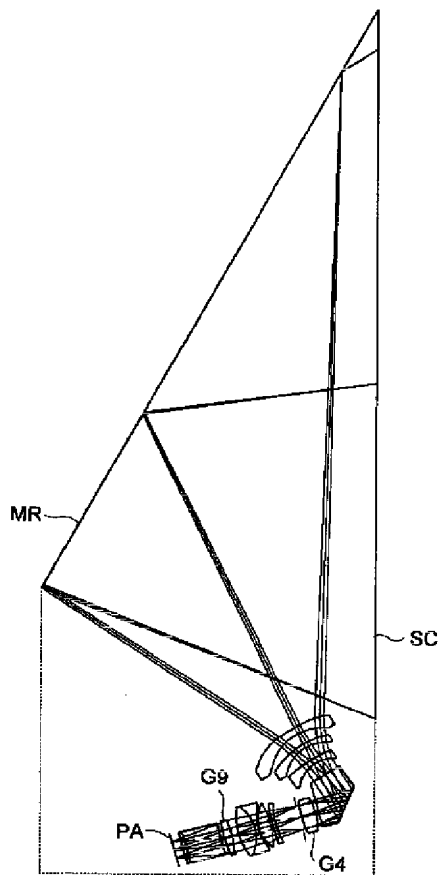
【図4】



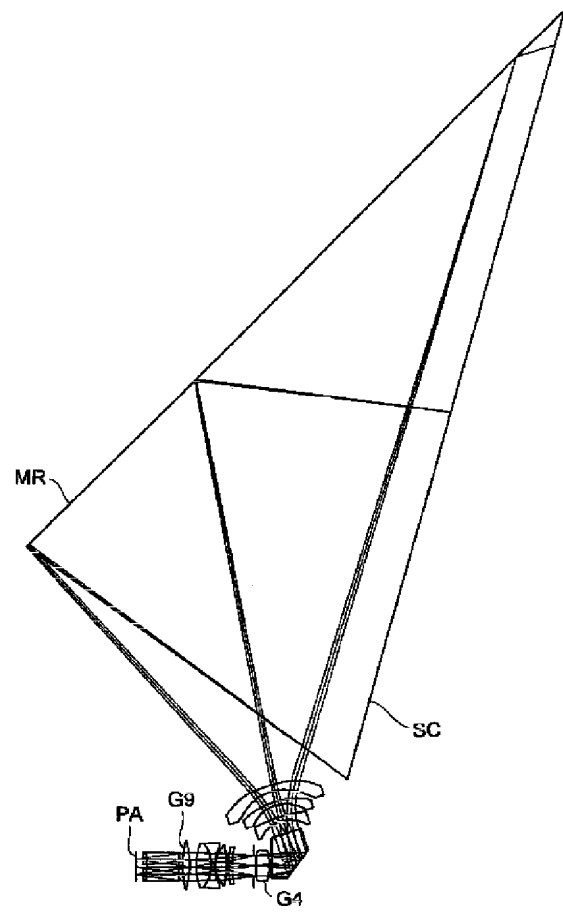
【図10】



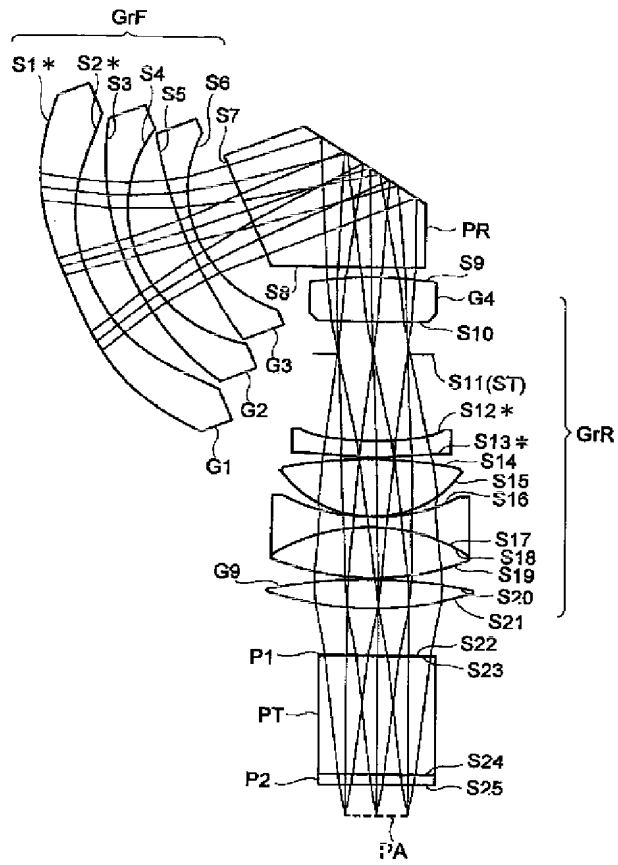
【図5】



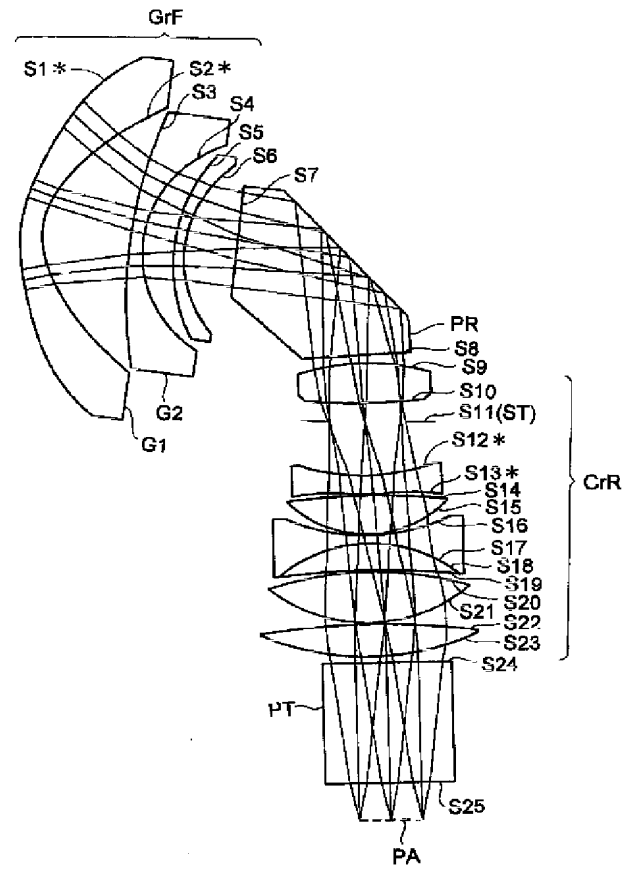
【図6】



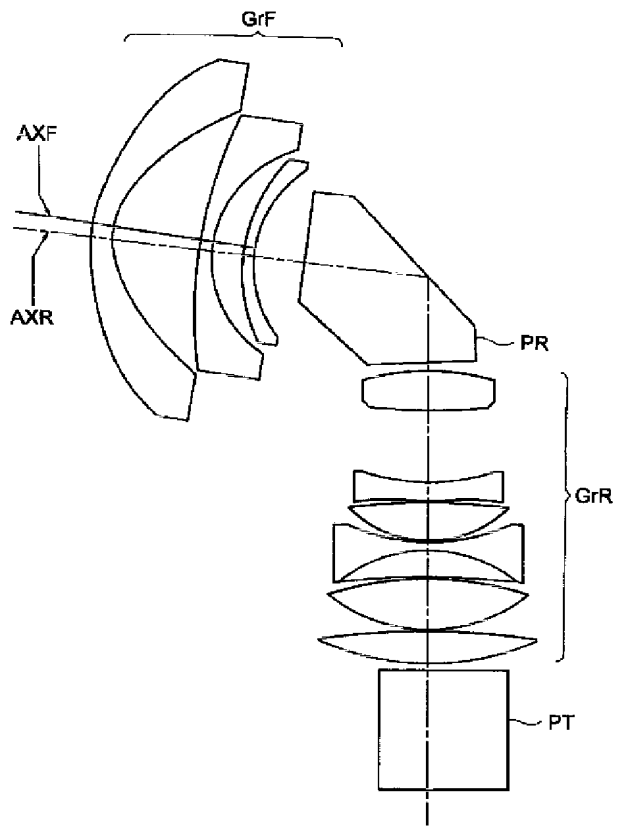
【図7】



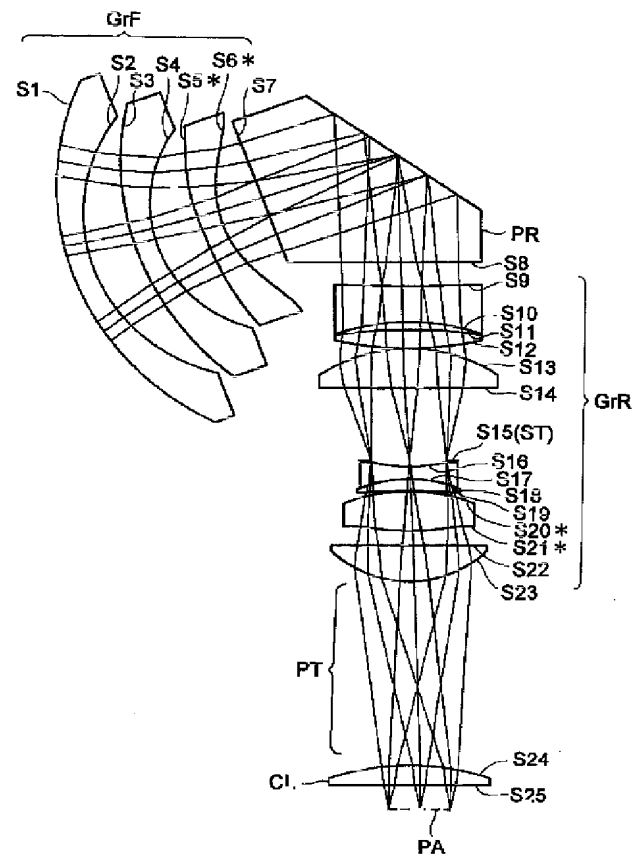
【図8】



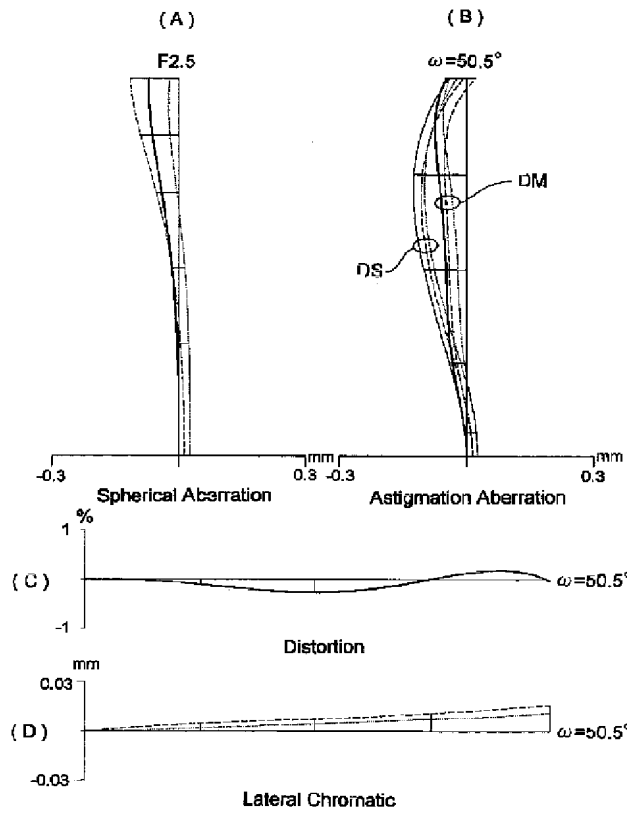
【図9】



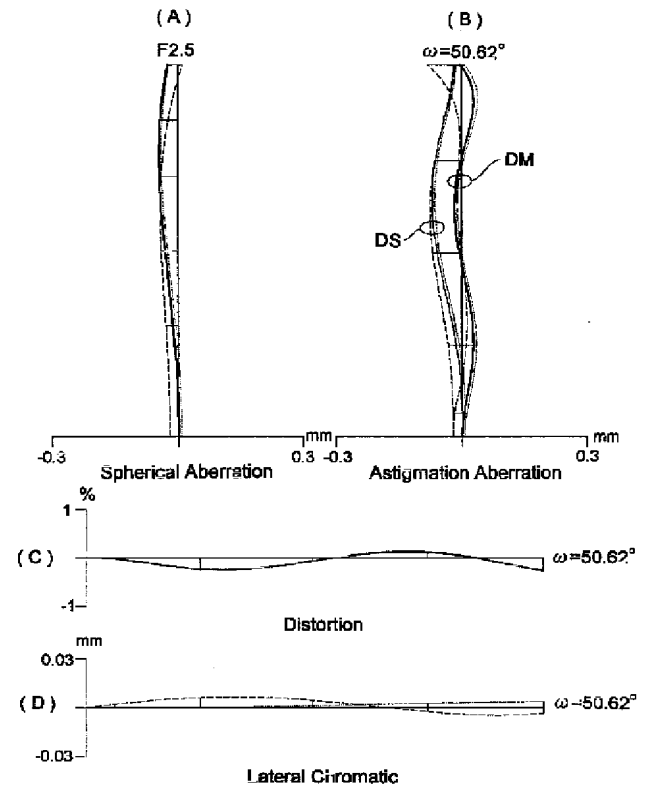
【図11】



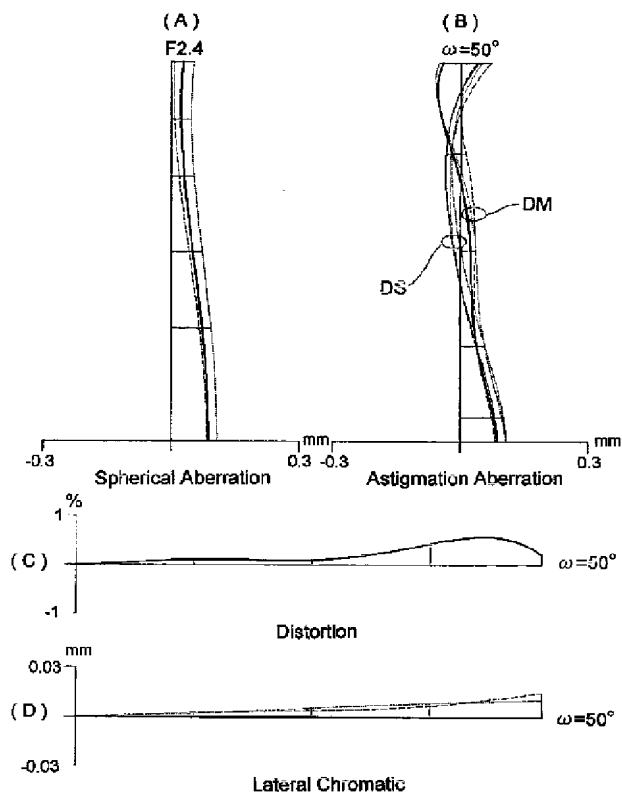
【図12】



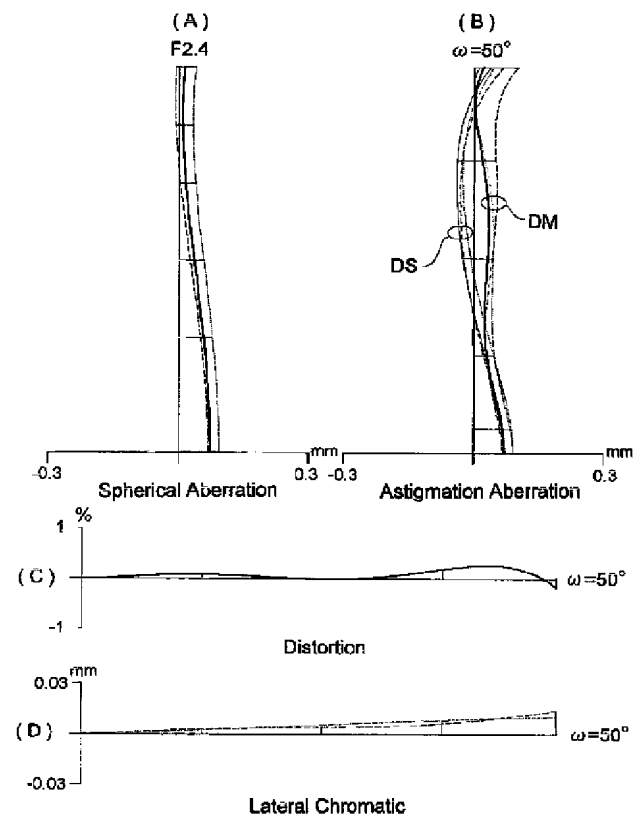
【図13】



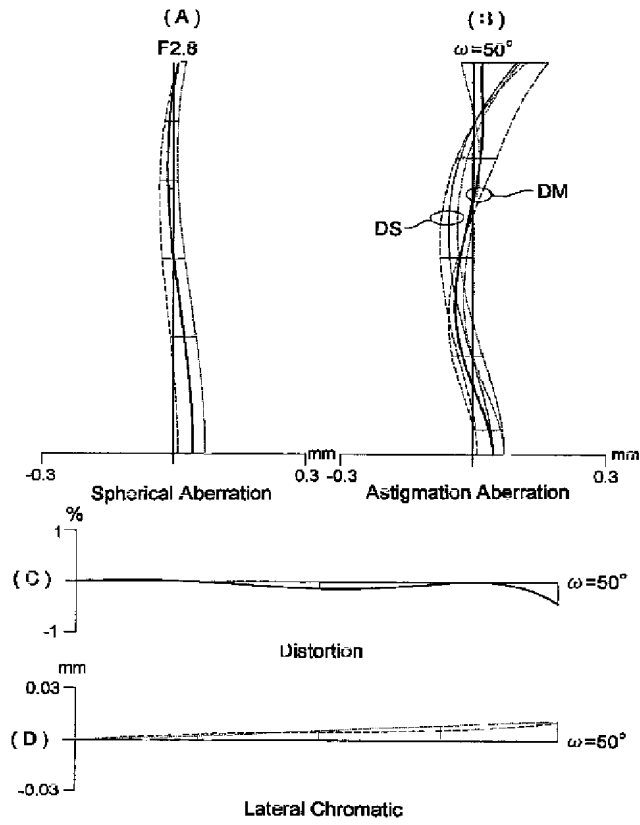
【図14】



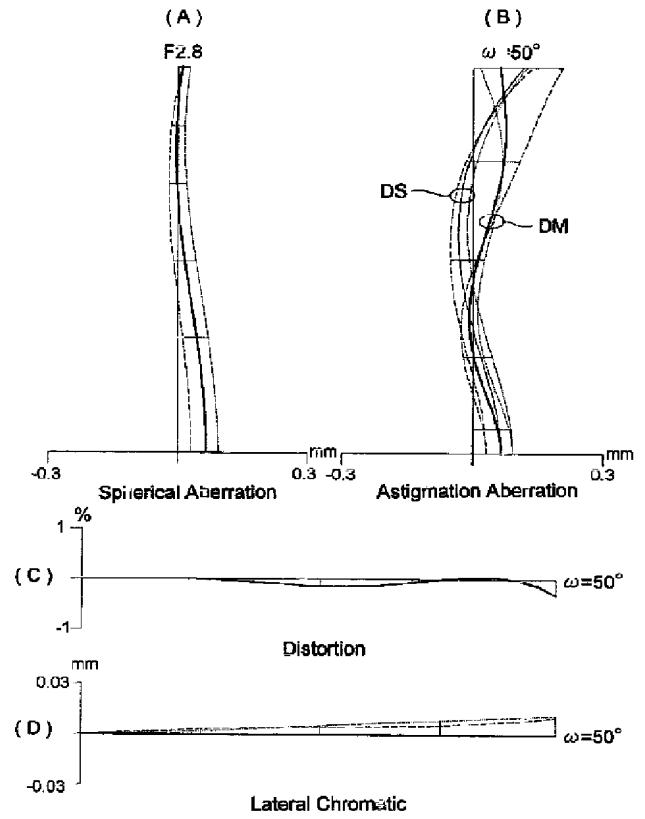
【図15】



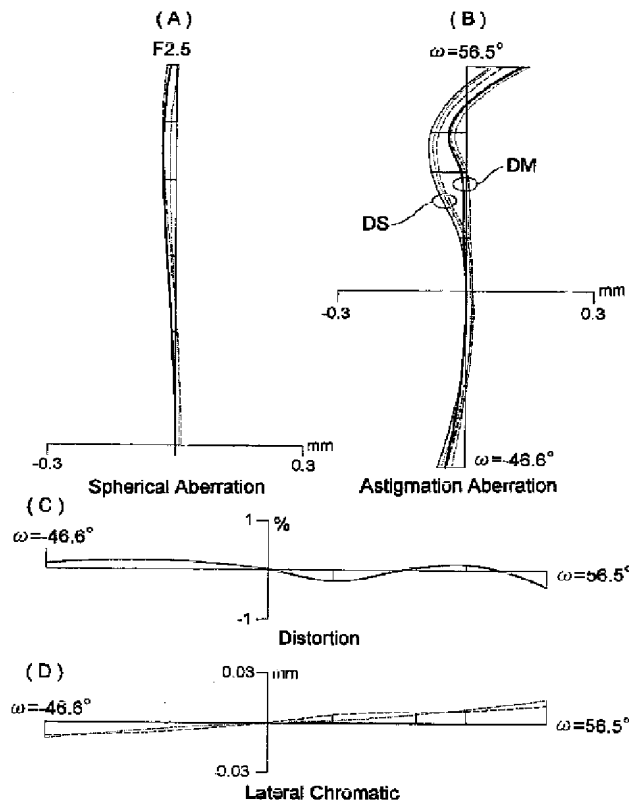
【図16】



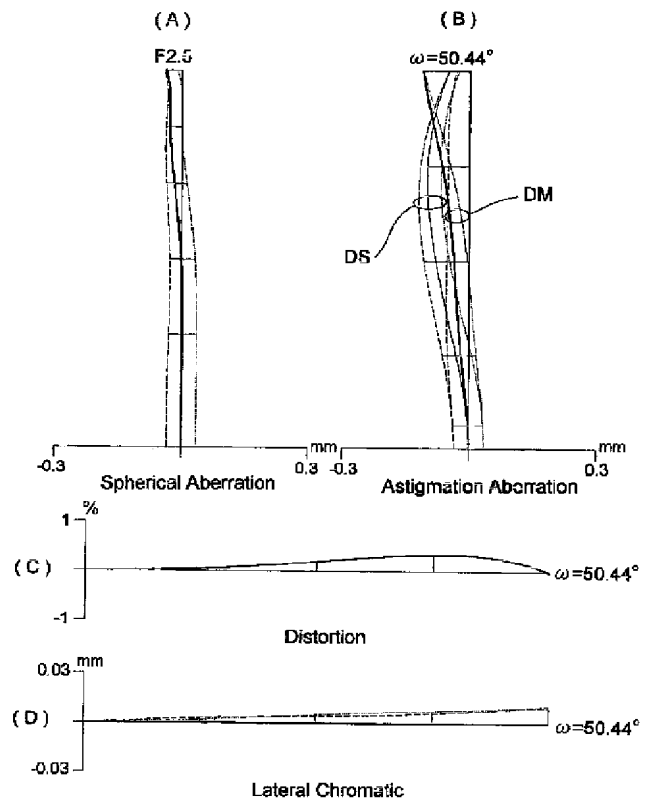
【図17】



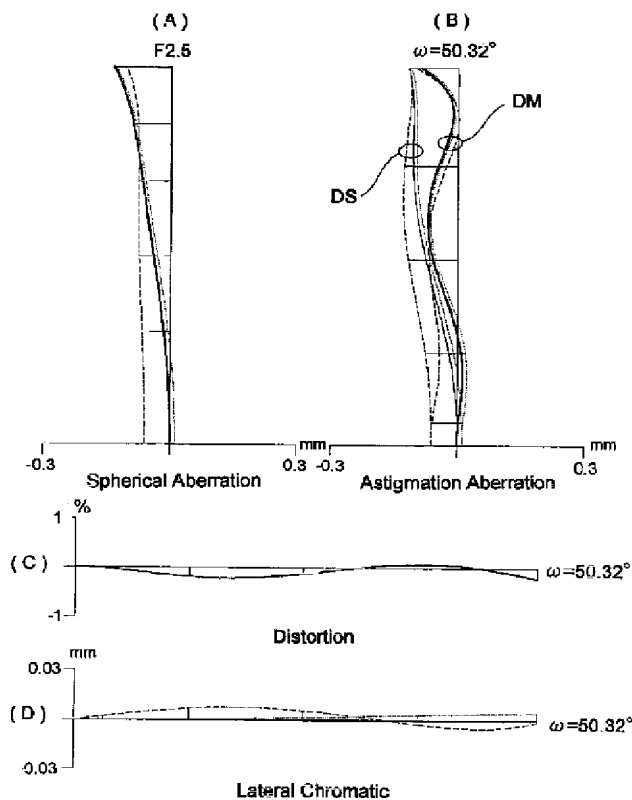
【図18】



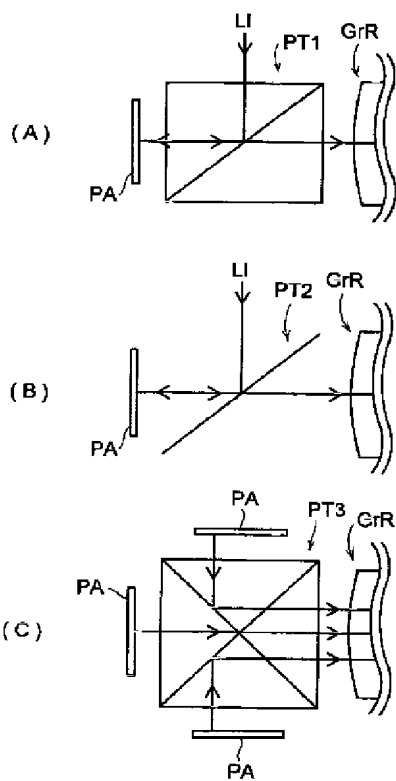
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	(参考)
G 0 2 F 1/13	5 0 5	G 0 2 F 1/13	5 0 5
			1/13357
G 0 3 B 21/00		G 0 3 B 21/00	E
H 0 4 N 5/74		H 0 4 N 5/74	A
			F

(72)発明者 林 宏太郎
大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビル ミノルタ株式会社内

F ターム(参考) 2H087 KA06 KA07 LA03 MA09 NA02
NA15 PA07 PA08 PA09 PA10
PA18 PA19 PB09 PB10 PB11
PB12 QA02 QA07 QA17 QA22
QA25 QA26 QA33 QA34 QA41
QA45 QA46 RA05 RA12 RA13
RA32 RA41 RA42 RA43 TA01
TA03 UA01 UA06
2H088 EA13 EA18 HA24 MA03 MA07
2H091 FA21X FA26X LA11 LA16
LA19
5C058 BA06 BA08 BA17 BA25 BA27
EA01 EA12 EA26